

遠隔地間空間型共同作業の支援に関する研究

葛 岡 天 明

目次

遠隔地間空間型共同作業の支援に関する研究

1 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	2
1.3 研究の意義	3
2 文献調査	4
2.1 遠隔地間空間型共同作業の定義	4
2.2 遠隔地間空間型共同作業の支援技術	5
2.3 遠隔地間空間型共同作業の支援技術の応用	6
3 研究の方法	7
3.1 実験の目的	7
3.2 実験の仮説	8
3.3 実験の設計	9
3.4 実験の実施	10
3.5 実験の結果	11
3.6 実験の考察	12
4 結論	13
4.1 研究の結論	13
4.2 今後の研究の方向性	14

葛岡 英明

目次

1 序論	1
1.1 本研究の背景	1
1.1.1 産業界の分散化	1
1.1.2 Computer Supported Cooperative Work (CSCW)	2
1.1.3 臨場感通信	3
1.2 本論文の立場	3
1.2.1 臨場感通信を利用したコミュニケーション	3
1.2.2 本論文で扱う共同作業、およびコミュニケーション	5
1.2.3 本節のまとめ	5
1.3 本論文の構成	8
2 本論文の枠組	9
2.1 諸言	9
2.2 CSCW(Computer Supported Cooperative Work) 研究の動向	11
2.2.1 実画像通信と共同作業	11
2.2.2 コミュニケーションの定型性 (formality)	17
2.3 空間型共同作業支援の必要性	22
2.3.1 Concurrent Engineering	22
2.3.2 機器の保守	22

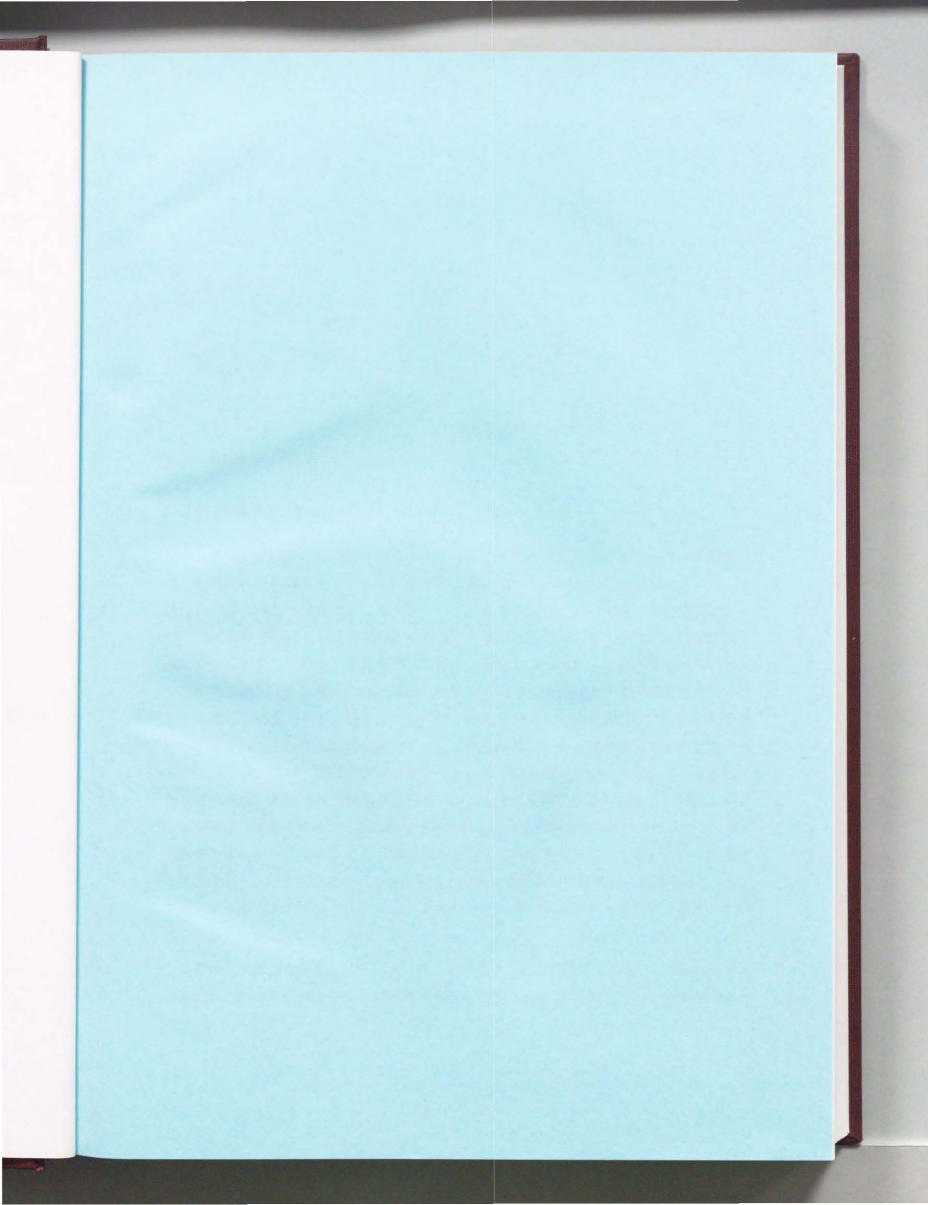
2.3.3	機械の遠隔操作	24
2.3.4	空間型共同作業支援	24
2.4	本論文における共同作業支援の枠組	25
2.4.1	空間型の作業	25
2.4.2	コミュニケーションのセットアップ段階と情報伝達段階	25
2.4.3	実画像通信によるコミュニケーション支援	26
2.4.4	空間型作業におけるシステムの可搬性、画像の共有	29
2.4.5	インフォーマルとフォーマル両面からのアプローチ	31
2.4.6	コミュニケーションの評価	32
2.4.7	本論文で扱うコミュニケーション形態	33
2.5	本章のまとめ	36
3	空間型共同作業におけるコミュニケーション	37
3.1	諸言	37
3.2	予備実験用システム:加工の臨場感通信システム	38
3.2.1	加工の臨場感通信システムの概要	38
3.2.2	ソフトウェア構成	38
3.2.3	ハードウェア構成	42
3.3	実画像通信の必要性	48
3.3.1	遠隔玩具組み立て指示実験	48
3.3.2	NCフライス盤を利用した遠隔切削実験	54
3.3.3	工作機械の遠隔作業指示における心理的影響	56
3.4	機械操作説明におけるコミュニケーション	66
3.4.1	実験	66
3.4.2	コミュニケーションのパターン	71
3.4.3	視野の変化	74

3.4.4 表現解析	77
3.5 本章のまとめ	82
4 実画像通信を媒体とした空間型共同作業コミュニケーション	84
4.1 諸言	84
4.2 モデル作業	85
4.3 従来の通信手段を利用したモデル作業の指示	86
4.3.1 作業完遂時間	91
4.3.2 手振り表現解析	91
4.3.3 言語表現解析	94
4.3.4 手振り、言語表現における問題点	98
4.3.5 モデル作業指示の言語表現に関する考察	100
4.4 撮影角度とコミュニケーションの円滑さ	103
4.4.1 作業空間のメンタル・ローテーション時間	104
4.4.2 作業空間に対する視点の違いのコミュニケーションに対する影響	106
4.5 実画像通信システムに必要とされる機能	112
4.5.1 主観的な表現の相違の低減	112
4.5.2 視点の共有	114
4.5.3 視点の位置的な可変性	115
4.5.4 共有作業空間の位置的な可変性	116
4.5.5 可確認性	116
4.5.6 あいまい性の少ない表現	116
4.6 本章のまとめ	118
5 視点共有型実画像通信支援システム: SharedView の試作	119
5.1 緒言	119

5.2 視点共有機構:SharedCamera	120
5.2.1 注視方向と眼球の動き	123
5.2.2 頭部水平転回角と眼球水平転回角との関係を求める実験	125
5.2.3 水平方向視点共有機構:SharedCamera H	126
5.2.4 SharedCamera H の性能	130
5.2.5 頭部垂直転回角と眼球垂直転回角との関係を求める実験	134
5.2.6 垂直方向視点共有機構:SharedCamera V	134
5.2.7 SharedCamera V の性能	138
5.2.8 SharedCamera の性能に関する考察	139
5.3 頭部搭載型ディスプレイ	142
5.3.1 頭部搭載型ディスプレイの見やすさの評価	144
5.4 動作指示カーソル	148
5.5 SharedView の予備的な評価	149
5.5.1 視野の広さと位置指定の容易性	149
5.5.2 作業空間の広さに対する SharedView の位置的可変性の効果	154
5.6 本章のまとめ	156
6 SharedView の利用	157
6.1 諸言	157
6.2 モデル作業への利用	158
6.2.1 動作指示カーソル (MIC)	158
6.2.2 SharedView	163
6.3 SharedView の MC の遠隔操作指示への利用	169
6.3.1 実験	169
6.3.2 MC 操作説明の概要	173
6.3.3 実験結果	176

6.4 研究室内の機器設定実験	186
6.4.1 実験	186
6.4.2 実験結果	195
6.5 本章のまとめ	205
7 考察、展望、及び結論	207
7.1 考察及び展望	207
7.1.1 コミュニケーション支援システムの設計とコミュニケーションの 二段階	207
7.1.2 主観的な表現の相互変換を減少させる臨場感通信システム	210
7.1.3 視点の非共有性	211
7.1.4 SharedView システムのその他の利用方法	212
7.1.5 手振りの合成手法	213
7.1.6 コミュニケーションの冗長性、間接情報	214
7.1.7 仮想共同作業空間	215
7.1.8 柔軟性の高いシステム	215
7.2 結論	220
謝辞	224
A 言語表現解析によるコミュニケーションの評価	226
A.1 コミュニケーションの評価手法に関する考察	226
A.1.1 本論文における評価法に関する考察	228
A.2 言語表現解析によるコミュニケーションの評価手法	229
A.2.1 感覚チャネルのスイッチングを利用した評価	229
A.2.2 非言語的コミュニケーションと会話	230
A.2.3 会話の品詞解析	232

A.2.4 機能解析	233
A.2.5 発話数と情報量	233
B プロセス間通信を利用したソフトウェア開発を支援するツール: CTK	237
B.1 CTK 開発の目的	237
B.2 CTK 開発の基本的な概念	238
B.2.1 BPSS	238
B.2.2 プラガブル	238
B.3 CTK の概要	239
B.3.1 Colon, Semi-Colon	239
B.3.2 media	240
B.3.3 Colon ID	240
B.3.4 複数言語、インタフェースへの対応	241
B.4 CTK を利用したプログラミング	242
B.4.1 基本的なプログラミング	242
B.4.2 CTK の高度な利用法	245
B.5 CTK のインプリメンテーション	247
B.5.1 メッセージ構造	247
B.5.2 プログラム構造	248
B.6 CTK に関する考察	250
B.6.1 BPSS と BPS	250
B.6.2 CTK システムの特徴	251
参考文献	252



第1章

序論

1.1 本研究の背景

1.1.1 産業界の分散化

今、産業界は分散化の時代であり、特に日本ではこれが強く叫ばれている。国際的には、日米間の貿易摩擦やヨーロッパにおける経済のブロック化などの要因によって、生産拠点の海外移転が盛んにおこなわれている。また、国内においても、地価高騰によって一企業内の各種部門を地方に分散せざるをえなくなりつつある。一方、生産形態は従来の少品種大量生産から、多品種少量生産へと変化しつつあり、このような状況において国際的な競争に勝つためには研究開発から生産へと移行するまでの期間を極力短くすることが必要となる。短期間で多品種の製品を開発・生産するためには設計開発部門と生産現場との密接な連絡が必要である。従来は設計がある程度進んでから生産部門との会議をおこない、設計変更をおこなうという手順を踏んでいた。例えば、生産部門の立場からは、設計された製品が技術的、コスト的に実際に生産可能なものであるかどうかが重要な問題であり、これに問題がある場合には生産現場からのクレームによって、設計変更がくりかえされ、これが製品開発を遅らせる大きな原因となる。これを解決する手法として、設計・生産の期間を短縮するために設計の初期段階から会議をおこない、早期に設計変更をおこなっていく、コンカレント・エンジニアリングという考え方が普及してきている。

このような流れの中で、コンピュータ・ネットワークの発達にともない、Factory Automation (FA) や Computer Integrated Manufacturing (CIM) のように、各部門のあら

ゆる構成員が同時に生産のためのデータにアクセスすることが可能であるようなシステムが実現され、効果をあげている。すなわち、産業界において、各部門間のリアルタイムな共同作業の必要性は高く、また、そのためのコンピュータの利用はすでに定着していることになる。しかしながら、現在の CIM 等は単に設計・加工データや、在庫データ等の数値的な情報が交換されるにすぎず、加工に関する熟練者のノウハウといった、コンピュータでは扱いにくい情報の支援がさらに望まれている [GKKH89, JHGY89]。

1.1.2 Computer Supported Cooperative Work (CSCW)

Computer Supported Cooperative Work (CSCW) という概念は、従来の Office Automation (OA) に替わり、1980 年代の中ごろから注目を集め始めている概念である。従来の OA が個人的な生産性の向上に力点が置かれていたのに対し、CSCW では、グループとしての人間の協調活動のメカニズムを明らかにし、それをコンピュータによって支援しようとする考え方をとっている [Ish89]。より具体的には、CSCW はコンピュータを利用することによって時間的・空間的制約を克服して、人間同士の共同作業を支援するための技術 [Ish90b, SB89] であるといえる。しかしながら、このような考え方に基づいた CSCW システムによって支援される共同作業は、その対象のほとんどがオフィスワーク、あるいはデスクワークであるのが現状である。すなわち、対面あるいは遠隔地間の会議のサポート [SFB⁺88]、電子メールを利用した情報交換の定型化 [Win88b] や情報のフィルタリング、オフィス業務の定型化 [Ish88]、またこれらのシステムを実現するために必要なハードウェアやアルゴリズムに関する研究などである。

これらの研究と並行して、メディアが以上のような共同作業に与える影響に関する研究も徐々に注目され始めている。実は心理学の分野では古くから通信メディアと人間同士のコミュニケーションとの関係を明らかにするための研究がおこなわれている [Wil77]。CSCW の分野においても、通信メディアが共同作業に与える影響に関する研究の必要性は強く叫ばれている。XEROX PARC では、CSCW という分野が提唱され始めたその初期から、実画像通信の重要性に注目し、基礎的な研究が繰り返されている。しかしこれらの研究はオフィス間を接続するものであり、産業界における生産現場での利用に関する研究は関心を持たれつつも [Stu88]、試みられていない。

1.1.3 臨場感通信

高速な三次元コンピュータ・グラフィックスの描画技術の発展、そして三次元画像の人間への提示技術、及び人間の身振りをコンピュータへ入力するためのデバイスの開発によって、「人工現実感」という分野が急速に注目を集め始めている。これはコンピュータの生成する仮想的な三次元空間を特殊な表示装置を利用して立体視し、仮想空間内の物体を自分の手で操作し、触覚を感じ、音を聞くというように、人間の五官情報を人工的に生成することによって、あたかも現実の世界であるかのような環境を人工的に生成する技術である。一方、臨場感通信とは、音情報、画像情報、触覚情報等、各種の感覚情報を遠隔地と交換することによって、「現実に関わっている場面に身をおくような感覚を与える通信」[Kob91]のことである。この臨場感通信システムは人工現実感研究と融合しつつ、盛んに研究がおこなわれている。これらの研究は、複数の人間があたかも対面してコミュニケーションをおこなっているかのような環境を人工的に生成しようとするものがほとんどである。また、現在おこなわれている臨場感通信システムの利用目的の大半は、遠隔地間会議システムであり、前述のように、可能なかぎり対面に近い環境を再構成することを目標としている。

1.2 本論文の立場

1.2.1 臨場感通信を利用したコミュニケーション

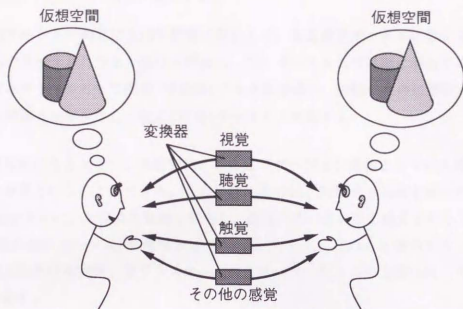
筆者は、産業界における地理的に分散した生産現場との共同作業におけるコミュニケーションを、臨場感通信システム等の技術を利用して支援することが有効であり [Igo91]、それを実現するための基礎的な研究が必要であると考え。従って本論文では、作業対象がデスクトップでおこなわれる、二次元的なオフィス・ワークではなく、三次元的な対象を含む作業に注目する。すなわち、三次元的な空間に存在する立体を三次元的に操作するような共同作業への利用の研究をおこなう。以後、本論文ではこのような作業を「空間型の共同作業」と呼ぶこととする。このような研究をおこなう場合に、マルチメディア情報を、いかに高速で正確かつ大量の情報を通信するかという、ハードウェアのレベルと、如何なる種類の情報を如何に通信し、提示するべきかという、ソフトウェアのレベルとが存在する。ハードウェア・レベルは従来より研究が進んでおり、既に衛星通信回線を通した画像通信など、高度なレベルに達しているのと比較して、ソフトウェア・レベルに関する研究はまだその初期段階にあると考えられる。本来 CSCW 研究が人

間側に着目したものである以上、臨場感通信システムを利用するためには、情報の送受信主体である人間に着目し、いかなる情報伝達・提示手法が人間にとって理解しやすく、コミュニケーションを円滑にしうるかという、ソフトウェア・レベルの研究が特に重要である。すなわち、本研究の最終的な目的は以下の通りである。

- 臨場感通信システムを人間同士の共同作業に利用する場合、それが人間に有効に利用されるための要件を明らかにする。

また、本研究の進め方として、基本的にはTangらの推奨する方法を採用する。すなわち、既存のコミュニケーション手法を解析することによって、問題点を抽出し、その解決策を講ずる。そして再びその結果を評価することによって、新たな問題点を抽出していく、という逐次的な手法(Stepwise Approach) [Lak88] である。これは、あらゆる研究において常識的なアプローチであるにもかかわらず、CSCW 研究においては、軽視されがちであることも事実である。すなわち、経験的な勘からシステムを設計し、利用してみるという方法をとる研究が多く存在する。従って、ここであえてこの研究手法を主張する。本研究は共同作業の全ての問題点を解決することのできるものではないが、限定された作業対象においてでも具体的研究手法を例示することは、今後の研究を進める上での一つの指針となり、有意義であると考ええる。

一般的に、臨場感通信システムでは、「音声」「画像」「触覚」等の各種情報が遠隔地間で相互に通信されるが、岩田はこのような各種感覚ごとの通信経路を「感覚チャネル」と呼んでいる [Iwa87]。現在、臨場感通信を利用したコミュニケーションをサポートするために、非言語的なコミュニケーションに着目し、ジェスチャ、表情、触覚等の表現手段をコンピュータ・ネットワークを通して通信するための技術開発が各感覚チャネルについておこなわれている。人間のコミュニケーションにおいて各種感覚チャネルは相補的に利用されていると考えられる。従って、本論文では、ある一つの感覚チャネルに変換を加えた場合、それが他の感覚チャネルに与える影響を観察することによってその変換の評価が可能であると考ええる。また、感覚チャネルに対して変換を加える時、現実空間を忠実に再現することにとらわれず、むしろ積極的に異なる空間を構築することを試みる。



臨場感通信では、各感覚チャネルを相互に送信し合う。本研究では、感覚チャネル毎に変換をほどこすことによって、コミュニケーションの円滑化を図る。

図 1.1: 複数感覚チャネルを利用したコミュニケーション

1.2.2 本論文で扱う共同作業、およびコミュニケーション

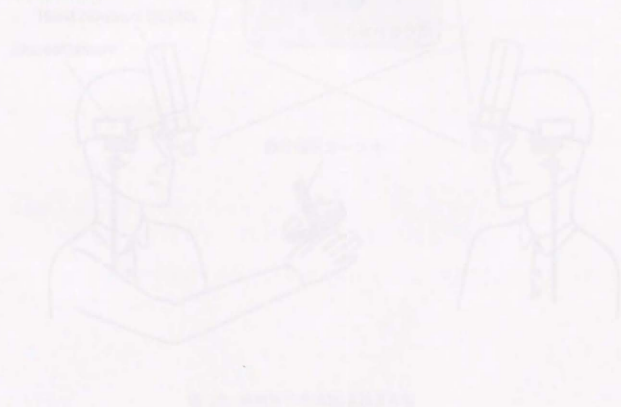
研究に際し、すべての感覚チャネル、表現手段を同時に扱い、また、一般的なコミュニケーションを扱おうとすることは問題を複雑化することとなる。従って、本論文においては、限定された目的のコミュニケーションに対して、限定された感覚チャネルを扱うこととする。具体的には、産業界での利用を考え、コミュニケーションは機械の操作指示を主とする。扱う感覚チャネルは音声と実画像である。特に実画像チャネルに注目し、コミュニケーションを円滑化するために変換を加える対象とする。音声チャネルは常に一定のレベルで利用可能とし、変換を加えない。従って、音声チャネルに対する影響を積極的に観察する。

1.2.3 本節のまとめ

ここで、再度、本論文の進め方を簡潔にし、明確にする。

- 空間型の共同作業を研究対象とする。
- 感覚チャネルが相互に及ぼす影響に注目して、ある感覚チャネルに与えられた変換が他のチャネルに与えた変化を解析し、これをシステムの評価に利用する。変換を受けるチャネルとして視覚(実画像)チャネルを扱い、評価のために解析がおこなわれる情報チャネルとして聴覚(言語)チャネルを利用する。

徐々に明らかになるように、本研究は、コミュニケーション主体としての人間に注目した研究であるということができる。この目的のために、対話者の視線を共有するための装置(SharedView)、及び共有知識を利用し、表現のあいまいさを減少させるための図形的表現(動作指示カーソル)を考案する(図1.2)。さらに、これらを利用することによって、本論文における提案、及びシステムがコミュニケーションの支援に対して有効であることを示す。



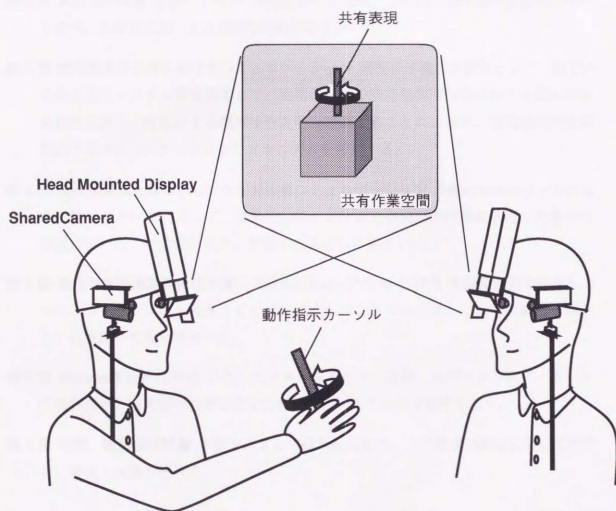


図 1.2: 視線共有型実画像通信装置

1.3 本論文の構成

第1章 序論 本研究の意義、目的を解説する。さらに、リモート・コラボレーションに関する一般的な研究の背景、従来の研究を紹介し、臨場感通信システムへの発展を考慮した共同作業システムの構築を目的とする、本論文の立場を述べる。

第2章 本論文の枠組 従来のCSCW研究における課題、空間型共同作業の必要性について述べ、本論文における具体的な枠組を示す。

第3章 空間型共同作業におけるコミュニケーション 研究の予備的な段階として、加工の臨場感通信システム等を利用して、実画像通信の空間型共同作業に対する基本的な有効性を示し、対面による機械操作説明を観察することによって、空間型共同作業におけるコミュニケーションのメカニズムを考察する。

第4章 実画像通信を媒体とした空間型作業コミュニケーション 実験のためのモデル作業を考案し、それを利用して、従来の通信システムを空間型の作業に適用した場合の問題点を、特に対話者の視点、手振りに注目して検討する。

第5章 視点共有型実画像通信支援システム:SharedViewの試作 実画像通信を利用したコミュニケーションを支援するために試作したシステムに関して、その機構を説明し、視覚的な性能を評価する。

第6章 SharedViewの利用 試作したシステムをモデル実験、及びマシニング・センタの操作指示、研究室内の機器設定に利用し、システムの有効性を示す。

第7章 考察、展望及び結論 本論文によって得られた知見、及び将来の展望について考察し、最後に結論を述べる。



第2章

本論文の枠組

2.1 諸言

時間 \ 空間	対面型	分散型（遠隔地）
	同期型 (リアルタイム)	グループによる意思決定支援 会議支援 コンピュータ支援電話会議 在席型遠隔電子会議支援 テレビ会議
非同同期型 (Store & Forward)	プロジェクト管理支援 プレゼンテーション支援 スケジュール調整 共同執筆	

図 2.1: CSCW の時間的、空間的な分類
([Mat91] より修正の後転載)

CSCW は Computer Supported Cooperative Work の略称であり、文字通り、人間同士の共同作業をコンピュータを利用して支援するための研究である。従来オフィス・オートメーション(OA)はワード・プロセッサに代表されるように、個人向けのアプリケーションが中心であった。これに対して、人類学、認知心理学等の見地からの研究をもと

りいれることによって、人間同士の協調作業のメカニズムを解明し、それを支援するためのシステムを構築しようとするのが CSCW のアプローチである。

CSCW はその時間的な特徴、及び地理的な特徴から分類することができる。時間的には同期型 (synchronous) と非同期型 (asynchronous) に、地理的には対面型と分散型とに分類され、これらの組合せから四種類に大別される [Ish89, Mat91]。図 2.1 からわかるように、従来 CSCW において主として研究されてきた共同作業には、以下のようなものが存在する。

- 共同文書執筆 [Opp88]
- 会議 [Man88, SFB+88]
- ハードウェア設計 [Bly88, BM90, TL88, TM90]
- ソフトウェア設計、生産 [CB88, YC90]
- オフィスの定型業務 [Ish88]
- 電子メールを利用した事務的なコミュニケーション [Win88b]

本章ではまず、次節においてコミュニケーションにおける実画像の利用という観点、及びコミュニケーションの定型性 (formality) という観点から従来の研究を概観し、その問題点について考察する。そして 2.3 節において、従来のオフィス・ワーク支援のための CSCW とは異なる範疇である、空間型の共同作業の必要性について述べ、2.4 節において、本研究が CSCW という分野の中でとる立場を述べる。

2.2 CSCW(Computer Supported Cooperative Work) 研究の動向

2.2.1 実画像通信と共同作業

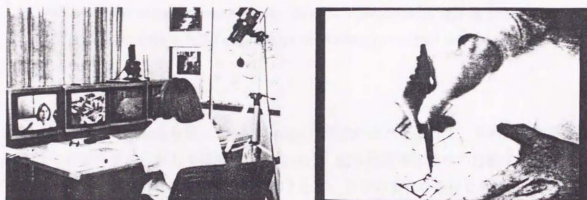


図 2.2: Media Space

Xerox PARC では 1985 年より、分散したオフィスを実画像ネットワークで接続したシステム: Media Space を利用した実験を開始している [Stu88]。これは遠隔地に分散した設計者たちの共同設計作業を支援するために実験的に利用され、このような共同設計作業が対面による設計作業と比較してどのように変化するか、あるいは変化しないかに注目して、実験的におこなわれた設計作業が観察された。この実験から、

- 実画像と音声の存在によって、お互いが物理的に離れているにもかかわらず、対面に近い存在感を持つことが可能であること、
- お互いに親近感を持つことが可能であること、
- 会話、設計図などの様々な記録をビデオ・テープに記録することが可能であり、その記録を見ることによって、たとえ、ある時点で会議に参加していなくても、あたかも参加していたかのような錯覚を覚えることが可能であるなど、録画機能によって、従来の対面にはないメリットが生ずること、
- 実画像通信装置の利用に慣れることはそれほど困難ではないこと、

等、地球規模で分散している場合においても有効に活用され、距離的な制約の克服が可能であること、などを主張している。この研究は実画像通信が実用に耐えうることを示唆したと同時に、実画像のさらに有効な利用法や、そこに内在するであろう各種の問題

点に関してさらに研究を進める必要性をも示した。彼らはこの点に関して、以下のよう
に述べている。

We also expect real projects to be complex, ill-defined, large, and connected
with manufacturing or construction. More complete media spaces would pro-
vide designers with a fuller experience of staying in contact without physical
presence.

Xerox PARC の Tang らは、Media Space の研究の流れを受けて、共同設計作業の中
でも特に描画作業に注目して研究をおこなった。彼らは描画作業中の行動を解析するこ
とにより、コミュニケーション支援の要因として、以下のような項目をあげた [TL88, TL89]。

- 手振りは絵と一緒に見られることが重要である。
- 手振りをおこなっている人間が誰であるかがわかる必要がある。
- ツールが原因となる時間遅れを極力なくす必要がある。
- 描画結果が重要なのではなく、描画過程が共同作業者に見えることが重要なのであ
る。
- 人間の行動を明確に分類することは解析には有効であるが、共同作業を支援するツ
ールが、それらの行動を完全に分離された個別の機能として扱ってはいけない。人間
は複数の行動を同時に、あいまいにとることが多い。
- 描画面に対する方向性の違いは、同一の画面を共有するという点、お互いの描画方
向が異なってしまうという点において欠点となるが、各々誰の描画であるかを区別
するためには有効である。
- 複数の人間が同時に作業面にアクセス可能である必要がある。
- 協調した動作をおこなうためには、共同作業者がお互いの行動を確認可能である必
要がある。
- 共同作業者は作業面へのアクセスが容易である必要がある。

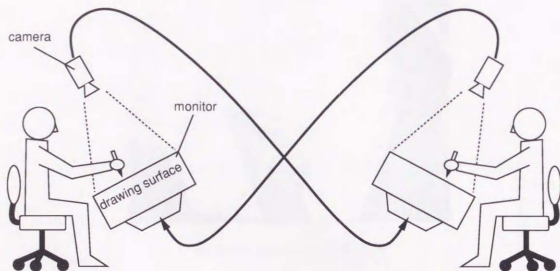


図 2.3: VideoDraw の概観

Tangらはこのような考察に基づいて VideoDraw を試作した [TM90]。これは、モニタ及びカメラを図 2.3 に示すように接続することによって、作業者双方の描画面と手振りの双方を重ね合わせて表示することを可能としたシステムであり、上記の要件のほとんどを満たすことに成功した。VIDEOPLACE は人間の画像をコンピュータによって、リアルタイムに影 (silhouette) に変換し、計算機との様々なインタラクションをデモンストレーションしたシステムであるが [Kru90, Kru91]、Tangらは、実画像を利用することによって、三次元的な手振り表現を伝達できることが VideoDraw の利点である点を強調している。この研究から、ある作業対象 (VideoDraw では描画面) と共に利用される時、手振りは非常に重要であること、手振りを伝達するためには、その三次元的な表現を伝達することが可能であるという点からも、実画像通信が有効であることが明らかになった。

Xerox では、以前から、物理的なメタファを用いることによって計算機利用を支援するインタフェース: ARK (Alternate Reality Kit) [Smi87] を開発されており、さらにこの ARK をもとにして、複数の人間が同時にアクセスすることができる共有画面機能を拡張した SharedARK (図 2.5) が開発された。この SharedARK と、遠隔地の対話者同士の視線を合わせること (eye contact) を可能とするための実画像通信装置: VideoTunnel (図 2.6) とを併用して、アイ・コンタクトが、SharedARK を利用した問題解決に与える影響が調べられた [SOO⁺91]。この結果、VideoTunnel はメタ・レベルの問題解決 (仮説を

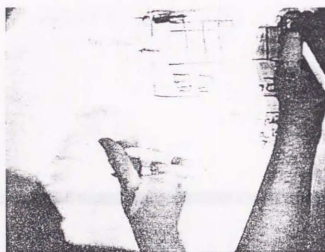


図 2.4: VideoDraw の使用例

立てる、戦略を立てる等)に有効であり、共同での問題解決中における作業分担に対して効果的なのではないか、という仮説を示した。ただしこの研究も明確な結論を出すには至っておらず、また、アイ・コンタクトとの因果関係も明白にされていない。過去、心理学の分野においては、アイ・コンタクトと人間同士の親和性や、その他の心理的な影響に関する実験がおこなわれ、因果関係が示されているが[Sai87]、作業結果自身への影響を明白にすることは困難であると思われる。

以上の考察よりあきらかになった事柄を列挙する。

- 設計作業のみではなく、より生産現場に密着した作業を対象とすることが望まれている。
- ある作業対象と視覚的に重ねて利用される時、手振りは重要な役割を果たす。
- 実画像を利用することの利点は、三次元的な表現を伝達することができることである。
- 実画像通信によって対話者が見えることに起因した、親和性の向上等の心理的要因による、作業効率や作業品質の向上を評価することは困難である。

本節で概観したように、実画像通信の共同作業への利用に関する研究はまだ緒についたばかりである。従って、今後どのような目的に対して如何に利用すべきであるかは関心が持たれている領域であり、その具体例が強く望まれている。

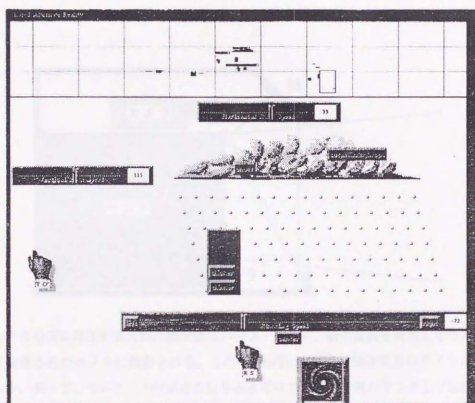
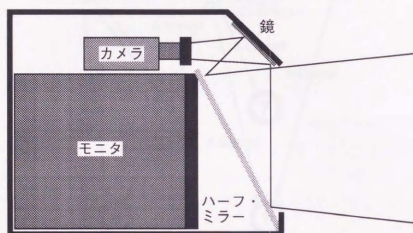


図 2.5: SharedARK の典型的な画面例

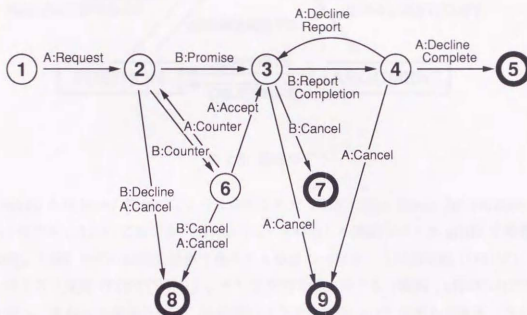


モニタの全面に存在する人間の顔画像はハーフ・ミラー、鏡の反射を利用してモニタ上部に設置されたカメラに撮影される。この VideoTunnel は対話者双方のサイトに設置される。従って、モニタ上の対話者の目をみただけで、対話者側のモニタ上では自分を見ているように顔が表示される。

図 2.6: VideoTunnel の仕組み

2.2.2 コミュニケーションの定型性 (formality)

CSCW において人間の協調的な作業モデルを構築することは非常に重要であると考えられており、コミュニケーション理論に基づいて製作されたコミュニケーション支援システムがいくつか存在する。



A から B へ要求が出された場合の conversation for action を表現する状態遷移図。円は会話状態を、線は speech act を表す。図中の太い円は終了状態を示す。

図 2.7: 会話の状態遷移モデル

Winograd らは言語学における "speech acts" という考え方に基いて、"conversation for action" というモデルを考案した [Win88a] (図 2.7)。これは A から B に対してある要求が出された場合の、A、B 二者間の会話の状態、及び次に採りうる会話行動とを状態遷移図で表現したものである。Coordinator は、このモデルに基づいて、電子メールシステムにコミュニケーションの制御機構を設けたシステムである。即ち、電子メールを送信する際に、システムはその時点での会話の状態に基づいて、次に出しうるメールの内容の選択肢をユーザに示し、ユーザはそこから適当な項目を選択し、その項目に従った内容でメールを出すこととなる。この機構によってシステムはコミュニケーションの状態遷移を常に把握することが可能であり、並行して進行する複数の会話の状態を整理

してユーザに提示することができる。

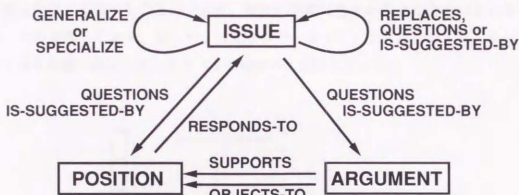
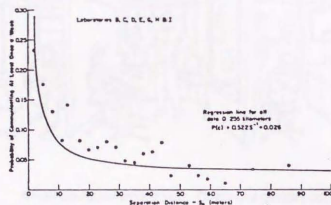


図 2.8: 議論モデル

ConklinらはHorst Rittelによって開発されたIBIS (Issue Based Information Systems) モデル (図2.8) に基づき、HyperText を利用した議論システム gIBIS を構築した [CB88]。IBIS モデルは設計過程で発生する会話の内容を、「問題提起 (ISSUE)」、それに対する「見解 (POSITION)」、そしてその見解に対する「議論 (ARGUMENT)」に分類し、それらの関係を賛成、反対等のリンクで関係づけたモデルである。ユーザはシステムの提供するこのモデルに従って論議を進めることによって、整理された会話を進行させることが可能となる。

しかしながら、これらのように、コミュニケーションの内容を強制するソフトウェアを「ファシスト・ソフト」と評した批評家も存在する [Aiz89]。すなわち、人間同士のコミュニケーションは必ずしもこれらのモデル、あるいは構造に従っておこなわれているわけではなく、一回の発言によって複数の状態遷移を起こしたり、どの状態に分類されるべきであるのかが曖昧となるような意見が出されることも多い。事実、gIBISにおいては、IBISモデルの三種類のノードのみではなく、「その他 (OTHER)」というノードを設けることによって例外的な内容を処理する必要があった。また、ある人の選択したノードが正しくないのではないか (例えばある人の発言は「問題提起」ではなく、「見解」とするべきではないかといった意見)、といった、メタレベルの議論が発生するなどの例が報告されている。コミュニケーションをこのように定型化することには、議論の無駄や矛盾を減少させ、また、過去の履歴から議論の推移を把握するなどの利点は存在する。しかし、人間が通常持つ、曖昧さ、柔軟さという特性を許さないことから、コ

コミュニケーションをモデルに適合させるためにある程度の思考を要したり、不自由さを感じさせるという欠点も存在する。この点に関しては Tang も、人間のコミュニケーション行動は明確に分類することはできず、複数の範疇に含まれるようなあいまいなものが多いことを主張しており、従って、コミュニケーション・ツールはコミュニケーション行動のある範疇に制限してしまうべきではないと主張している。



([KEG88] より抜粋)

図 2.9: 共同作業者間の物理的距離 (m) と、最低でも週に一回はコミュニケーションが発生する確率

Kraut らは、人間同士の物理的な距離の隔たりとコミュニケーションの頻度を調査することによって、物理的な距離が近いほど、対数関数的にコミュニケーションの頻度が増加する (図 2.9) といった調査結果から、廊下ですれちがった時におこなわれるような、偶発的で informal なコミュニケーションが重要であることを主張している。これらの考察から、Kraut らは以下のような項目が informal communication をサポートするためが必要であるとしている。

1. 二種類以上の双方向の感覚チャネル (sensory channel) が利用可能である。
2. ユーザがあらかじめ用意した情報や、コミュニケーションの最中に生成されたあらゆる情報を交換することが可能である。
3. 実画像通信装置を遍在させる。

Root は Kraut らのこの主張に基づき、マルチメディア通信を利用して仮想的な廊下 (virtual hallway) をコンピュータ内に生成し、ユーザがその中を仮想的に歩き回ることによってインフォーマルなコミュニケーションを実現するためのシステム: CRUISER を提案した [Roo88]。



A well-equipped work group. Colab-like devices could lead to a radical redesign of all the areas where informal meetings take place. In a setting around the coffee pot, one could go up to the liveboard and retrieve a board from a previous conversation, or forward the board contents so that a conversation could be continued in an office. (Line drawing by Steve Osburn.)

図 2.10: Liveboard の概念図

([SB89] より抜粋)

これらの提案が、フォーマル、あるいはインフォーマルのどちらか一方に偏った提案であったのに対して、Stefik ら [SB89] は、意思決定の様な、会議室でおこなわれるフォーマルなものからコーヒー・ラウンジでおこなわれるインフォーマルなコミュニケーションまでを考える必要性を述べている。この概念を表すために "seamlessness (縫い目の無さ)" という言葉を利用し、コミュニケーションにおける時間の相違、場所の相違、道具の可搬性、媒体の相違 (音声から文字への変換等) などに存在する「縫い目」をとり去るためのシステム "liveboard" を提案している。この liveboard はペンによる書画から高度なコンピュータ・オペレーションまでを幅広く支援し、会議室から、コーヒー・ラウンジまで至るところに設置されるべく (図 2.10)、開発が進められている。

このようにコミュニケーションの定型性に関してはさまざまなアプローチが提案され、システムも製作されているが、やはりその種類は少なく、有効と思われるシステムは

数少ない。人間のコミュニケーションを構造的に支援するべきか、あるいはより柔軟に支援するべきか、seamlessといった概念はいかなる可能性を持つのかといった問題を、より多くの経験から解明していくためにも、それらの概念を具体的に実現したシステムの開発、及びその利用が求められている。

2.3 空間型共同作業支援の必要性

2.3.1 Concurrent Engineering

産業界では concurrent engineering が注目を集め始めているが [GKHK89][JHGY89]、これは従来のデスクトップ作業以外の共同作業の重要性を示す一例である。産業界では、企業間、国家間の競争力を高めるために製品開発のライフ・サイクル (図 2.3.1) を短縮することは、ユーザの要求に素早く対応するために、重要なことである。例えば自動車産業においては、新車開発のライフ・サイクルはアメリカでは 62ヶ月、500万エンジニアリング時間 (engineering hours) を要するのに対し、日本では 43ヶ月、300万エンジニアリング時間を要するのみである。このような大きな差を減少させるためにも、製品開発のライフ・サイクルの短縮は重要な課題となっている [GKHK89]。このようにライフ・サイクル時間が大きくなる原因の一つは、度重なる再設計である。concurrent engineering とは、この再設計の回数を減少させるために、設計の初期段階から設計、技術、生産、各部門間のコミュニケーションを促進し、多くの設計時間を費やしてしまう前に修正をおこなっていくとする考え方である。その一方で、国際化に伴う海外への工場進出等が盛んになり、各部門が地球規模で分散しつつある。従って、concurrent engineering は地球規模での距離の克服を考慮する必要性が生じている。このような、製品開発におけるライフ・サイクルの中で、概念設計 (conceptual design) や CAD 等を利用した設計 (detailed design & drafting) の段階はコンピュータ・ネットワークを利用した従来の CSCW 技術によってある程度支援することが可能であると考えられるが、試作段階 (prototyping) のように実際の物体を見ることによって共同作業をおこなうような段階では、実画像、音声等を実時間で通信し合うことによってコミュニケーションをおこなうことが不可欠である。

2.3.2 機器の保守

電力会社、ガス会社等、各種の大規模な設備を分散して保有している企業にとって、これらの機器の管理、保守作業は非常に重要であり、かつ危険を伴う作業である。例えば電力会社における巡視作業や補修作業は、数万ボルトの高圧線に誤って触れてしまうことを防ぐために常に二人一組でおこなわれ、一人の人間は必ずもう一人の作業を監視して、安全を確認することが義務づけられている。また、機器に表示される電流、電圧値等各種データの読みとり作業の誤りは大きな事故につながるため、この値の二重の確

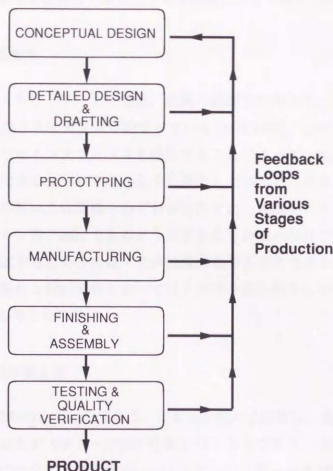


図 2.11: 製品のライフ・サイクルの典型的な段階
 ([GKHK89] より抜粋)

認も作業に二人の人間を要する理由である。さらに、これらの作業は常に電力系統の総合監視盤の備えられた総合制御所と連絡を取り合いながら進められなければならない。しかしながら依然として年に数名の事故による犠牲者が出ており、また、このような作業員の出人不足も深刻な問題となっている。従って、より安全性を増すこと、安全性を保ちつつ作業員を減らすこと、作業を下請け会社に委託すること等が望まれている。ただし、作業を外注する際に問題となるのは、作業員が電力系統や、機器に関する知識をあまり持たないものである場合に、作業の信頼性が低下することということである。ここで、考えられることは、総合制御所と現場作業員を実画像、音声回線で接続し、総合制御所にいる人間に作業支援をおこなわせることである。適切な画像、音声通信を提供することによって、現場作業員を一人に減らすこと、あるいは作業委託の場合であっても、

遠隔からの監視によって信頼性を増すこと等が可能になると考えられる。

2.3.3 機械の遠隔操作

マルチメディア・ネットワークの整備、産業の国際化に伴って、遠隔地から工作機械等の制御をおこなおうとする試みが始まっている [MHNI90]。このプロジェクトでは、ユーザ・フレンドリなインタフェースを提供することによって、加工の初心者であっても工作機械を利用できるようにすることを目標としている。このとき、騒音、臭い等の問題で、作業環境の悪い工作現場へわざわざ行かずに、遠隔からネットワークを利用してワークステーション等で操作できるようにすることが試みられている。このような場合、切削状況を確認するための画像・音声情報は必要不可欠である。また、このようなシステムを利用し始める初期段階においてはトラブル等も発生しやすく、熟練者による補助が必要であると考えられる。

2.3.4 空間型共同作業支援

従来の CSCW で扱われていた作業は、作業者が室内で着席し、机に向かっておこなうような作業、すなわちデスクトップ型の作業がほとんどである。これら従来のシステムがデスクトップ型であることの原因の一つとして、コンピュータが容積的、質的に大きく、デスク・サイドあるいはデスクトップにしか置くことができなかったということがあげられる。従って、別の見方をすれば、システムが固定的であったがために、デスクトップ作業しかサポートできなかったとも考えることができる。しかしながら、実際には協力してある機械を組み立てる、機械の操作を指示するなど、デスクトップではおこなうことのできない共同作業が他数存在する。このような作業は、三次元空間内に適当に配置された対象物の三次元的な動作を伴う作業である。本論文では以後このような作業を「空間型共同作業」と呼ぶこととする。空間型共同作業に関する本小節における考察をまとめると、

- 機械・機器操作の未熟練者が、熟練者の支援を受けるといった、空間型の共同作業を必要とする状況が存在する。
- 遠隔地間の空間型共同作業を支援するためには、実画像・音声は必要である。

ということが挙げられる。

2.4 本論文における共同作業支援の枠組

以上の考察から、本論文の、CSCW 研究の中での立場、研究を進める際に着目すべき点を明確にする。

2.4.1 空間型の作業

オフィス内で作業する人間のデスクトップでの共同作業ではなく、機械等の三次元的な形状を持つ物体を対象としたコミュニケーションに関する研究がおこなわれた例はこれまでほとんど存在しない。しかし、設計部門等のオフィスと、生産現場とのコミュニケーションが注目を集めている現在、二次元平面上でおこなわれる、デスクトップ型の共同作業のみではなく、より三次元的な環境内でおこなわれる、空間型共同作業に関して研究がおこなわれる必要があり、これは、Stufts[Stu88] らや Tang[TM90] らの主張からも読みとることができる。ただし、空間型の共同作業を研究することは、デスクトップ型の作業を無視することではなく、それをも含めたより広い空間内での作業を扱うことであり、柔軟性に欠けるがためにあまり成功していなかった共同作業研究に対して、より広い視野を提供することをも目的としている。

2.4.2 コミュニケーションのセットアップ段階と情報伝達段階

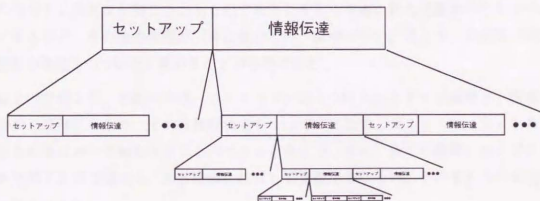


図 2.12: コミュニケーションの二段階と階層構造

本論文を進める概念的な枠組として、コミュニケーションのセットアップ段階と情報伝達段階との二段階を考える。すなわち、コミュニケーションをおこなうためにはなん

らかの通信媒体が必要となるが、その通信媒体の利用を開始するための段階と、その媒体を利用して実際に情報を交換する段階が存在する。例えば、電話をかけて、相手が電話に応答するまでがセットアップ段階であり、実際に会話をおこなうのが情報伝達段階である。従来は、実際の情報伝達の段階のみを扱った研究が多かったが、Kraut らは、作業者間のお互いの物理的距離が近いほど共同作業の発生が指数関数的に増加するという調査結果(図2.9)から、廊下、食堂での偶然の出会いなど、情報伝達開始の段階が重要であることを主張している [KEG88]。従って、本論文では両方の段階の存在を考慮し、双方を支援することが重要であると考ええる。また、このコミュニケーションにおける二つの段階は必ずしも一階層的なものではないと考ええる。すなわち、コミュニケーションを大局的に見れば、共同作業の開始時におこなわれる、以後の通信体制や作業内容の打ち合わせの段階と、その後の実際の作業におけるコミュニケーションの段階とにわけることが可能であり、また、局所的に見れば、作業開始後におこなわれる、打ち合わせ毎の電話の利用における二段階が存在する(図2.12)。Tang らの実験結果からは、手による動作は30%が注意の誘導(engage attention)に、残りの27%が情報の記録(store information)、43%が情報の伝達(convey ideas, represent ideas)に利用されるという結果が出ている。注意の誘導は、対話者と情報伝達をおこなうために、視覚の対象物を共有するという、セットアップ段階であると考えることができる。このような微視的な観点からもコミュニケーションの二段階が存在することが確認できる。

この二段階はお互いに独立に存在するものではなく、セットアップ段階が情報伝達段階の円滑さに大きな影響を与えるものであると考えられる。例えば事前の打ち合わせが十分であるほど、その後の作業が円滑に進むという経験は多い。従って、両段階の相互的な影響を考慮しつつ研究を進めることが必要である。

以上の考察より、本論文では、コミュニケーションはセットアップ段階と、情報交換段階の二段階からなり、それは階層構造をなしているため、コミュニケーションのさまざまな局面において観察することができると考える。また、全ての階層においてこの段階を支援するのではなく、ある階層に注目して支援をおこない、その考え方の有効性を示すこととする。

2.4.3 実画像通信によるコミュニケーション支援

CSCW では、実画像通信は共同作業の支援において、そのインフォーマル性という特徴も考慮し、有効に利用されるであろうことが期待されているが、実際に作成されたア

ブリークーションの種類は非常に少ない。このため、実画像をCSCWに利用した具体的な例が強く望まれており、その具体例を示すこと自身に意義がある。従って、本論文では、共同作業のためのコミュニケーション手段として実画像通信を扱い、CSCWにおける一例とする。

実画像を利用する場合、どのような対象物を撮影するべきであるかに関して考える必要がある。非言語的な伝達手段はコミュニケーションに大きな影響を与える要素であるため、臨場感通信システムにおいても、支援すべき必要不可欠の要素となっている。Tangらの研究においても、手振りを描画画面と共に伝達することがコミュニケーションに重要であることが示されている。しかしながら、非言語的な信号は非常に多種類存在するため、空間型共同作業を支援するためにはどのような非言語的信号のサポートを中心に考えるかに関して、考察をおこなう。

過去の研究から、非言語的なコミュニケーション信号にはほぼ次の9種類存在することがわかっている [Var87]。

1. 人体 コミュニケーション当事者の遺伝子に関わるもろもろの身体的特徴の中で、なんらかのメッセージを表すもの。例えば、性別、年齢、体格、皮膚の色など。
2. 動作 人体の姿勢や動きで表現されるもの。
3. 目「視線の交差(アイ・コンタクト)」と目つき。
4. 周辺言語(パラランゲージ) 話し言葉に付随する音声上の性状と特徴。
5. 沈黙
6. 身体接触 相手の身体に接触すること、またはその代替行為による表現。
7. 対人的空間 コミュニケーションのために人間が利用する空間。
8. 時間 文化形態と生理学の二つの次元での時間。
9. 色彩

コミュニケーションには五官、あるいは複数の情報伝達手段が駆使されるが、その全てを同時に扱うことは問題を複雑化することになるため、本論文においては、実画像通信の利用という立場から、その感覚を限定する。また、それに応じて、上記の非言語的コミュニケーション手段も限定する。

音声チャネルは、コミュニケーションのための基本的で、重要な手段である。そのため、その存在の有無がコミュニケーションの効率、表現の豊かさに大きな影響を与えることが知られている [Cha88, Wil77]。しかし、現時点において、音声通信は相当に整備されており、また、実画像の利用法に絞った研究をおこなうため、音声の通信方式は研究対象とせず、音声が明瞭に聞きとれる程度の通信手段を常に利用することとする。従って、周辺言語、沈黙は十分に伝達されるとする。

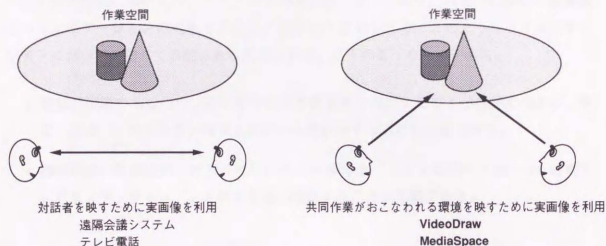


図 2.13: 実画像の利用に関する分類

人体、動作、目、対人的空間、色彩といった、視覚的な非言語的信号は本論文の研究対象となり得る。過去の研究はその撮影対象より、二つの種類に大別されると考えられる。すなわち、対話者を顔画像、動作を撮影することが、共同作業に与える心理的な影響、及び作業結果に与える影響を明らかにしようとする研究 [Gal91, SOO+91, Wil77] と、共同作業がおこなわれる環境、対象物を撮影し、進行しつつある作業に対して実画像が果たす役割に注目した研究である [Stu88, TM90] (図 2.13)。しかしながら前者の研究においては、これまで明確な実験結果が得られた例は少ない。そこで、本論文では後者の立場とるものとする。従って、人体、目、対人的空間は前者に含まれる要因であると判断し、研究対象より除外する。色彩はカラー画像が十分利用可能であるということから、積極的に扱うことはしない。動作はそれ単独で考えるのではなく、共同作業がおこなわれる環境、対象物と同時に撮影されることが有効であるという過去の研究結果から、この利用法を採用するものとする。この動作の中には、いわゆる手振り、そして対象物を「見る」という行為、すなわち、人間が何をどのように見るのかという動作を含むものと考え、解析の重要な要素とする。

一方、これらの非言語的な表現に差異をもたらす要因として、(1)個人的差異、(2)男女性別による差異、(3)文化形態による差異、(4)状況による差異、が存在する。本論文では、被験者として、これらの要因に対して大きな差異のない者を選ぶよう留意する。

2.4.4 空間型作業におけるシステムの可搬性、画像の共有

空間型の作業においては、ある三次元的な形状を持った物体、あるいは機器・機械類をコミュニケーションの対象とすることが多いと考えられる。このようなコミュニケーションにおいて共通して予想される問題点には、以下のようなものがある。

- 機械が複雑であるため、その操作方法や構造等を表現することが容易ではない。特に、見ることでできない部分を言語のみで説明することは困難である。
- 機器は狭い作業空間に配置されていることが多く、コミュニケーションのためのテレビカメラ、ディスプレイ等を最適に設置することが困難である。

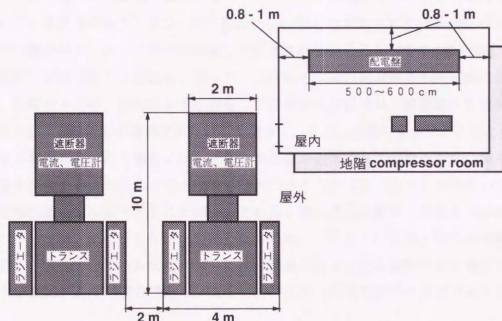


図 2.14: 電力会社の変電所の例

例えば電力会社の変電所設備に存在する機種、そしてそれらの操作方法是多岐にわたる。同一の目的の機器であっても、製造した年代、製造社によって、操作方法、数値の



図 2.15: 多くの機器類が密集した実験室内

読みとり方法は様々に異なる。場所によってはこれらの機器が1メートル程度の間隔で並べられている場合があり、かつ、広い敷地内に分散して配置されている(図 2.14)。実験室内での機械類も、狭い空間内に密集して配置されていることが多く(図 2.15)、また配置の変更も頻繁におこなわれる。従って、これらの環境の画像情報を遠隔地に送るためには、監視カメラ等、従来のように固定して設置する方法では、設置場所を確保しづらいために必要な対象物を撮影できないことが多く、また、多数のカメラが必要となる。音声通信が利用可能である場合には、適切な実画像が通信されていなくても、様々な言語的表現を駆使することによって、作業を伝達することが可能であることが多いが、その時の情報伝達効率は低下することが予想される。常に適切な画像を提供することは、コミュニケーションにとって有効な手段となるため、このように伝達すべき情報が空間内に広く分散してしている状況においては、従来のようにある固定された場所で利用するようなシステムは不適当である。従って、システムには可搬性が必要であると考えられる。

CSCW の分野では共同作業者に同一の画像を提供する概念を WYSIWIS(What You See Is What I See)という言葉で表現する。一般的には WYSIWIS はネットワークで接続されたコンピュータの画面においてこれを実現したものを指すが、本論文では空間型の作業における実画像通信においても、この WYSIWIS が不可欠であると考え。すな

わち、実画像を共有することによって、効率的なコミュニケーションが可能となると考えられる。

ここで、本章、2.4.2 節において述べたコミュニケーションの二つの段階を再び考えると、空間内で適切な位置に通信装置を配置することはセットアップ段階において重要であり、画像の共有による円滑なコミュニケーションは情報伝達段階において重要である。

以上の考察より、コミュニケーションの二つの段階を空間型共同作業という観点から考えた場合、システムは次のことがらに留意するべきであると考えられる。

- システムの可搬性を高めること
- 実画像の共有を可能とすること

2.4.5 インフォーマルとフォーマル両面からのアプローチ

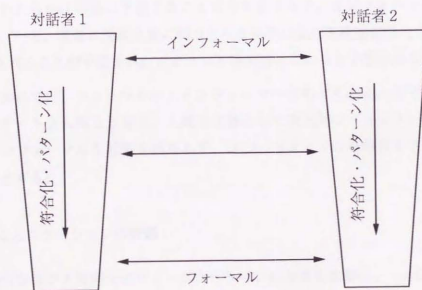


図 2.16: コミュニケーションの多様な定型性

先におこなった考察の通り、新たな情報の獲得が必要とされる場合には、いつ、どこで、どのような情報が伝達されるかは不確定である場合が多く、このような場合にはインフォーマルなコミュニケーションが必要となる。一方、人間はコミュニケーションを定型化することによって、一定の時間、場所、内容でコミュニケーションをおこなった

り、ある情報に固有の名称をつけるなどの符合化をおこなうことによってコミュニケーションの効率化を図ろうとする。この場合にはフォーマルなコミュニケーションが有効となる。また、インフォーマルに開始されたコミュニケーションも定型化、符合化によって、常にフォーマルへと動的に移行していく。すなわち、人間のコミュニケーションは常に様々なレベルの定型性を利用しつつコミュニケーションをおこなっていると考えられる(図2.16)。

従来の研究では、コミュニケーションをフォーマルに支援するか、インフォーマルに支援するかのどちらか一方のみを扱っていたものが多かった。しかし、定型性の多様性を考えた場合、どちらか一方のアプローチのみをとることを明言するべきではない。インフォーマルな支援に関しては、実画像通信を利用してあらゆる物を撮影し、共同作業の対象としようとするアプローチ [Ish90a] も存在し、実画像の特性を生かしたアプローチの一つとなっているが、人間同士の空間内でのコミュニケーションにおける、「見る、見せる」という行動に関してはさらに考察の余地があると思われる。空間型の共同作業は、空間内のどの位置に配置されたどのような対象に関していかなるコミュニケーションがおこなわれるかは明確に予測することは不可能であり、インフォーマル性を多分に含んでいる。一方、実際に情報交換に利用される表現にはある程度定型化された表現(符合)が利用されることが予想され、フォーマル性を持っていると予想される。

本論文においては、フォーマルか、インフォーマルかのどちらか一方ではなく、双方が多様にサポートされ得ると考え、人間を主体とした視覚的コミュニケーションを具体例としてインフォーマルな特性を損なわず、かつ、フォーマルな特性を生かすように留意するものとする。

2.4.6 コミュニケーションの評価

従来、通信媒体が人間同士のコミュニケーションに与える影響は、mediated communication という心理学の分野で研究がなされていたため、親和性、敵対性などの心理的な要因に注目して解析がおこなわれることが多かった [She89, Wil77]。しかし、これらの解析結果からは、コミュニケーション支援システムを構築するために有効となるデータがあまり得られていない。これに対して Chapanis らは会話中のメッセージ数、単語数、質問数といった表現を数えることによって評価をおこない、通信条件の相違によるコミュニケーションの変化を測定し、考察の材料とした [Cha88]。また、Tang, Bly らは手によっておこなわれる動作、表現をその動作の種類と、動作のおこなわれる目的とに分類

し、それぞれの利用回数を数えることによってコミュニケーション自身の理解、さらに、通信条件の相違の影響を測定する材料とすることに有効に利用した。従って本論文では、作業時間による評価とともに、コミュニケーションに利用された言語表現、手振り表現を数えることによって、コミュニケーションの解析、あるいは通信システムの評価に利用する。このとき、ある表現が表そうとした内容の種類を「機能」と呼び、この機能ごとに表現をかぞえることを「機能解析」と呼ぶ。また、言語表現の解析において品詞分類を利用したものを「品詞解析」と呼ぶ。

2.4.7 本論文で扱うコミュニケーション形態

ここまでの考察から、本論文で扱うコミュニケーションに制限を設け、研究の焦点を絞る。本論文では地理的に分散し、時間的には同期したコミュニケーションを扱うが、地理的、人的な分散形態に関し、以下のような制限を設ける。

サイト数 コミュニケーションをおこなうべき地点(サイト)の数は2地点とする。

人の分布 コミュニケーションをおこなうべき人間は一対一とする。

人の役割 作業対象に関する知識の豊富な者と、比較的乏しい者との間で、コミュニケーションをおこなう。

実際の共同作業、あるいはコミュニケーションの場においては、多地点間のコミュニケーション、多人数間のコミュニケーション、そして、知識レベルの様々に異なる人間同士のコミュニケーションが考えられるが、いずれの場合も、複雑な要素を数多く包含している上、実験が困難である。従って、本論文では前述のような、非常に単純な条件でのコミュニケーションを扱う。しかしながら、このような少人数の協調作業の研究は、今後の多人数によるコミュニケーションの研究をおこなうための基礎的なデータとなると考える。

Tang らは、複数の人間によって共有された空間内でおこなわれる全ての作業を、workspace activity と呼んでいる [TL88]。本論文においては、複数の人間が共同で作業をおこなうために共有される空間を、共同作業空間、あるいは共有作業空間 (shared workspace [TM90]) と呼ぶこととする。

本論文では、コミュニケーションの対象となる作業として、主に工作機械の操作説明作業を選択した。工作機械は、工具の動作、機械要素の配置、操作等が三次元的である

ため、二次元的な作業空間に関するコミュニケーションには存在しない問題点を十分に含んでいると考えられる。実験に利用した工作機械は、NC フライス盤 ((株)オリムピック: HT6101 プロットینگセンター)(図 2.17)、及びマシニング・センタ (MAZAK(山崎鉄鋼所): VQC-15/40) (以後 MC)(図 2.18)である。前述のように本論文では、二者による二地点間通信を考える。二者のうち一方は、対象となる工作機械に関して、比較的知識が豊富である者(以後、指示者)、もう一方は比較的知識が少ない者(以後、被指示者)を選択する。知識の程度は実験の種類によって異なるため、その都度解説する。共同作業空間となる機器は基本的に一方のサイトにのみ存在する。現実的に考えた場合でも、機器が両サイトに存在しないことは多く、必然性があると考えられる。このとき、機器は指示者側に存在する場合と被指示者側に存在する場合とがあるが、本論文における主たる設定では、被指示者側に機器が存在する。



図 2.17: NC フライス盤



図 2.18: マシニング・センタ

2.5 本章のまとめ

本論文は以下の枠組に従って進められる。

- 従来の CSCW において扱われてきた、二次元的なデスクトップ型の共同作業ではなく、より三次元的な空間型共同作業を研究対象とする。
- コミュニケーションをセットアップ段階と情報伝達段階からなると考え、双方の支援を考慮する。
- コミュニケーション手段として実画像通信を利用し、CSCW における実画像通信研究の一具体例とする。また、撮影対象として、共同作業者ではなく、共同作業がおこなわれる環境、対象物、及びそれらと同時に撮影される共同作業者の動作を扱う。
- 空間型共同作業における実画像通信システムの持つべき機能として、可搬性、画像の共有に留意する。
- コミュニケーションの定型性に関しては、その多様性に留意し、フォーマル、インフォーマルの一方に限定しない。
- コミュニケーションの評価手段として、作業時間の測定、及び利用された表現を数える手法を採用する。
- コミュニケーションは二地点に分散した、指示者と被指示者の二者間でおこなわれる。作業対象として主に工作機械が利用される。
- また研究を進め方として、Lakin, Tang らのおこなった stepwise approach [Lak88] に従い、まず対面によるコミュニケーションの特徴を解析し、次に通信システムを構築し、それを利用したコミュニケーションの解析をおこなう。



第3章

空間型共同作業におけるコミュニケーション

3.1 諸言

共同作業支援の研究においては、経験的な勘のみによってシステムを設計するという試みがおこなわれがちである。しかしながら、このような手法は、共同作業に対する理解の不十分さ、あるいは誤った理解によって、有効性の少ないシステム設計をおこなう可能性を高くする。研究分野として、その初期段階にある CSCW のにおいては、まず共同作業、あるいはコミュニケーション自身を観察することによってその基本的な仕組みを理解することが重要である。Lakin はコミュニケーションの観察、解析をおこない、その後にシステム設計をおこなうという stepwise approach [Lak88] をとったが、本章では、その最初の段階として、空間型共同作業におけるコミュニケーションの基本的なメカニズムを理解するための試みをおこなう。そのためにまず、遠隔地間での空間型共同作業に対する実画像通信の有効性に関して予備的な検討をおこない、次に対面によるコミュニケーションを観察することによって、その特徴を理解することを試みる。

3.2 予備実験用システム: 加工の臨場感通信システム

本節では、次節において利用する「加工の臨場感通信システム」に関して記述する。

3.2.1 加工の臨場感通信システムの概要

加工の臨場感通信システムは、製品開発や研究室等での実験用装置の開発プロセスを短縮する目的で試作が進められている実験システムである [Mit91]。すなわち、世界中の如何なる場所に存在するものであっても、発想に応じて直ちに加工をおこない、素早く実物を作成することによって、地球規模での技術交流をおこない、さらに新たな技術開発を促進させることができるシステムをめざしている。

本システムは、操作者が遠隔地からマシニング・センタ (MC) の操作をおこなうためのオペレーション・ルーム、加工機械が実際に存在するマシン・サイト、及び、臨場感情報や加工機械の操作情報を伝達する通信システムから構成される (図 3.1) [MWHN91]。

3.2.2 ソフトウェア構成

ソフトウェア・システムはいくつかの独立したモジュールからなる 3.2。それぞれのモジュール間の通信は、ソフトウェア・ツール: CTK を利用した (付録 B 参照)。これは、プロセス間通信を利用したソフトウェアの開発を支援するために作成したものである。CTK を利用することによって、プロセス間のメッセージの送受信を必要とするソフトウェアを簡潔に記述することが可能となる。これによってソフトウェアのモジュール化を促進し、システムの開発効率を高めている。以下に各モジュールと、その役割を列挙する。

- (a) **加工機械を制御するモジュール:** このモジュールはリアルタイム・マルチタスクینگ OS 上に構築されており、個々の加工機械、及び実時間制御コンピュータに依存する、基本的なプリミティブと、加工機械の基本的動作機能を提供する。タスクの起動は外部プロセスからのメッセージによっておこなわれる。モジュール (a) はもともと、外部との通信インタフェースとして RS232C によるシリアル通信によって、独自のプロトコルを利用してメッセージを受けとるように作成された。一方、他のモジュールは CTK を利用しているため、これらの通信プロトコル、及びメッセージを変換するためのプロセスが付随する。

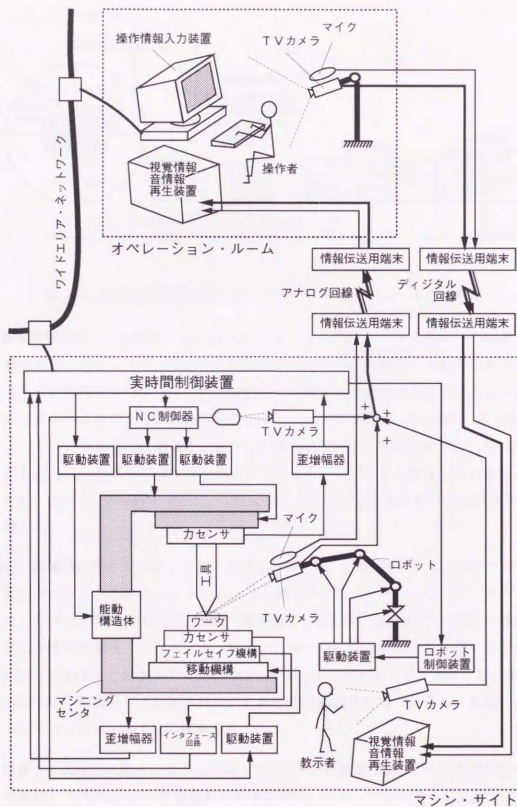


図 3.1: 加工の臨場感通信システム概観

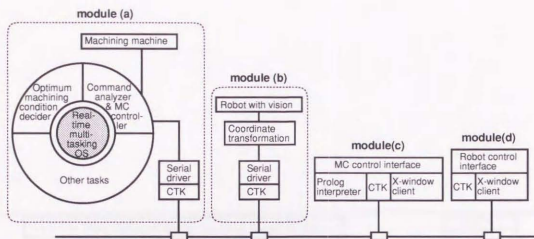


図 3.2: 加工の臨場感通信システムのソフトウェア・システム概観

- (b) 視覚搭載ロボット管理モジュール: CCD カメラ、及びマイクを搭載したロボットを操作することによって、カメラの撮影方向を上下左右に変更するためのモジュールである。外部からのメッセージを解釈し、ロボットの関節角を適当に決定するための計算をおこなう。ロボットの制御はマイクロ・コンピュータ (NEC: PC-9801) によっておこなわれる。通信インタフェースとして CTK を利用せずに、RS232C 通信を通して、独自のプロトコルによってメッセージが与えられるように製作されたため、モジュール (a) と同様に、CTK のメッセージを変換するためのプロセスが付随する。
- (c) MC 遠隔操作作用インタフェース・モジュール: MC を遠隔操作するためのコマンドを操作者が与えるために、X Window 上に構築されたグラフィック・ユーザ・インタフェース (図 3.3)[MHN190]。工具 (切削加工をおこなうためのドリル類) の移動速度、回転速度等の値を、キーボード、あるいはマウスによって入力し、ウィンドウ上のボタンを押すことによって実際にモジュール (a) にメッセージを送出する。メッセージは CTK を利用して送出される。これと同等の機能を持つモジュールは、パーソナル・コンピュータ上にも構築されている。
- (d) ロボット遠隔操作作用インタフェース・モジュール: 視覚搭載ロボットを遠隔操作するために、X Window 上に構築されたインタフェース。マウスで、インタフェース上のボタンを押すことによって上下左右方向の移動を指定することができる [MWK+90]。このモジュールは、パーソナル・コンピュータ上ではモジュール (C) に含まれる。

>>>> Machining Center Control Panel <<<<
Quit

Position

World

Local

Local origin

X	-100 mm	-60 mm	-40 mm
Y	-100 mm	-55 mm	-45 mm
Z	-100 mm	-30 mm	-70 mm

Feed

Move Master Control Panel

Left and Up
Up Only
Right and Up

Left Only
Right Only

Left and Down
Down Only
Right and Down

X	<input type="text"/>	20 mm
Y	<input type="text"/>	10 mm
Z	<input type="text"/>	0 mm

Speed

150 mm/min

Enter Location

X Enter

Y Enter

Z Enter

Enter feed speed

Motion

Stop

Start

Relative

Main Axis

Motion	<div style="display: flex; gap: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em;">Stop</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em;">Start</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em;">Forward</div> </div>	Enter revolution number
Rotation	<input type="text"/>	2000 rpm

図 3.3: X Window 上のインタフェース

41

3.2.3 ハードウェア構成

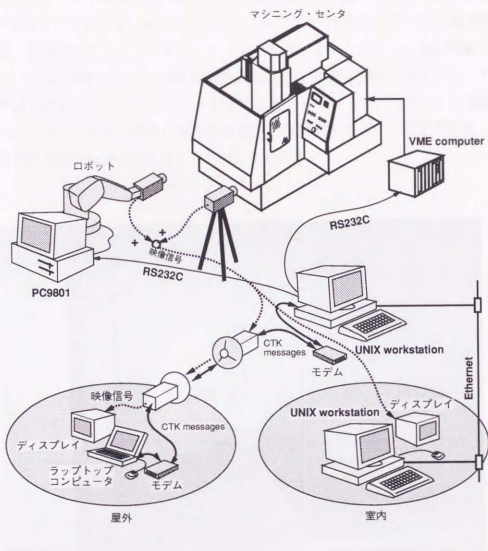


図 3.4: 加工の臨場感通信ハードウェアの概観

本実験で利用した MC は特別な入出力インタフェースを持ち、外部のコンピュータから制御をおこなうことが可能となっている。外部コンピュータとしては、実時間制御の可能なリアルタイム・マルチタスク OS (PDOS) を搭載したボード・コンピュータ (VMEbus, MC68020) を用いた。このコンピュータは RS232C によってワークステーションと接続されており、この回線を通して送られるメッセージによって MC をコントロールする。従って、モジュール (a) の CTK とシリアル通信の変換プロセスはこの UNIX ワークステーション上に存在する。

視覚を搭載したロボットはMS-DOS (NEC, PC9801) パーソナル・コンピュータ上の

プロセスから直接制御される。このパーソナル・コンピュータはRS232CによってUNIXワークステーションと接続されており、この通信回線より送られるコマンドによってロボットをコントロールする。従って、モジュール(b)の、CTKとシリアル通信の変換プロセスは、このUNIXワークステーション上に存在する。このロボットに搭載されたテレビ・カメラは、MCの工具、被切削物を撮影可能な位置に設置されている。もう一台のカメラはMCのコントロール・パネル上に配置されているディスプレイを撮影しており、これによって、工具の現在の座標値を数値的に確認することが可能である。この二つのカメラの切替えもPC9801によっておこなわれる。



図 3.5: Pasolink の概観

モジュール間の通信をCTKで統一しているため、新たなサイトに存在する新たな計算機を利用して遠隔操作をおこなう場合には、インタフェース用のソフトウェアのみをその計算機用に作成するだけで良い。このため、システムの開発効率が高く、また、容易に様々な場所からの遠隔操作を可能とすることができる。例えば、遠隔操作インタフェースは現在二種類が用意されている。一つはSun3ワークステーション上にPrologを利用してインプリメントされたインタフェースであり、もう一つは、Epson社製のラップトップ型パーソナル・コンピュータ上にインタフェースを構築し、モデム、Pasolinkを介してコンピュータ通信を実現した場合である(図3.4)。Pasolink(NEC製)は、カラー実画

像1チャンネル、音声2チャンネルを双方向で通信可能な簡易無線装置である(図3.5)。

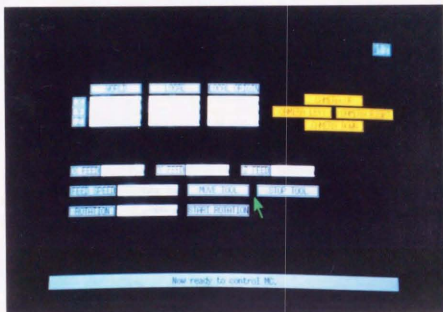


図 3.6: ラップトップ上のインタフェース

Sun3 ワークステーション上には Prolog で記述された MC 遠隔操作のユーザインタフェース (モジュール (c)) と、C で記述されたユーザ・インタフェース (モジュール (d)) が X Window 上に存在し(図 3.3)、X Window の機能により、ネットワークによってこのウィンドウ・システムが利用可能な全ての場所より遠隔操作をおこなうことができる。また、加工状態を確認するための実画像は、Pasolink、あるいは有線等の通信チャンネルを利用してオペレーション・サイトへ送られる。ラップトップ型コンピュータ上には、マウス操作で画面上のボタンをクリックすることによって MC の操作、及びロボット・アームの先端に取り付けたテレビ・カメラの位置をコントロールするためのインタフェースを作成した(図 3.6)。すなわち、モジュール (d) 及び (e) に対して、高い位置的な自由度を持たせたことになる。このインタフェースを利用して出される指示は、CTK のメッセージとして、ラップトップ・コンピュータのシリアル・ポートに出力され、モデムを介して音声信号に変換される。さらに、Pasolink の音声回線を利用して遠隔地に送られ、再びモデムによってシリアル信号に変換され、ワークステーションを介して、テレビ・カメラ遠隔操作のロボットや MC をコントロールすることとなる。同時に、遠隔地からの映像は、Pasolink の画像回線を通じてコントロール・サイトに送られる。このシス

テムによって、Pasolinkによる通信の可能な場所であれば、小規模のシステム構成でMCの遠隔操作をおこなうことが可能となった。このように、MCは東京大学工学部八号館の地下一階に設置してあるが、オペレーション・サイトは柔軟にその位置を選択することが可能である。以下に、実際に実験がおこなわれた構成例を示す。

オペレーション・サイト設置例 1: 工学部八号館五階

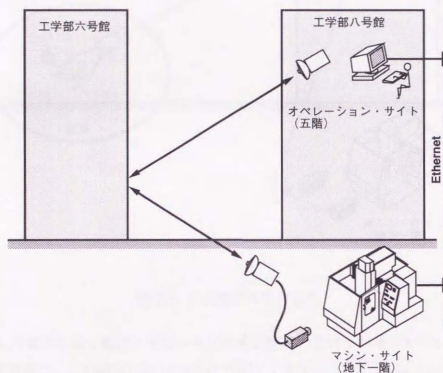


図 3.7: 工学部八号館内での利用

MCと同様の工学部八号館内の五階の研究室(514)にオペレーション・サイトを設置した。この研究室にはEthernetで接続されたSun3ワークステーションが設置されているため、コントロール・パネルはこのワークステーションのXWindow上に表示し、CTKによる通信はEthernetによっておこなわれた。画像、及び音声はPasolinkを利用して伝送されたが、このとき、Pasolink同士をお互いに直接向かい合わせる事が不可能であったため、正面に並行して建つ、工学部六号館の壁面に電波を反射させることによって通信をおこなった(図3.7)。

オペレーション・サイト設置例 2: 近距離屋外

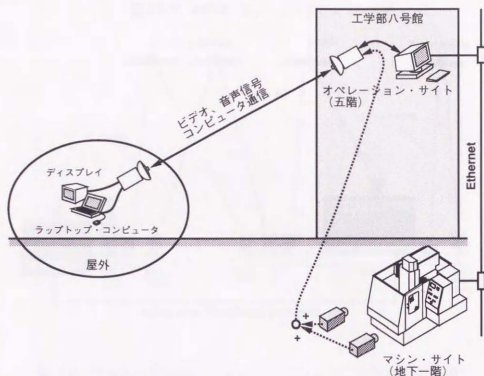


図 3.8: 近距離屋外での利用

Pasolink の電波の届く範囲、すなわち比較的近距离の屋外へのオペレーション・サイトの設置を試みた。この場合には Ethernet が利用できないため、Pasolink の音声回線、及びモデムを利用してコンピュータ通信を実現した。地階の MC 側の画像は、ケーブルを利用して工学部八号館五階にある計算機室に送られた。また、コンピュータ通信は、やはり五階に設置してあるワークステーション上で CTK の中継プロセスを動かすことによって、RS232C 回線を利用してデータの授受ができるようにした。画像は直接 Pasolink の画像チャンネルへ、RS232C 回線はモデムを介して Pasolink の音声回線へ接続された。屋外では、やはり Pasolink によって画像の受信、コンピューター通信がおこなわれ、画像は直接ディスプレイへ接続された。コンピュータ回線は、音声チャンネルからモデムを介して RS232C の信号に変換され、ラップトップ型のパーソナル・コンピュータに接続された。MC の遠隔操作、MC サイトのカメラの切替え、カメラの位置調整は全てこのラップトップ型コンピュータ上のインタフェースを利用して、キーボードとマウス操作によっておこなわれた (図 3.8)。

オペレーション・サイト設置例 3: 海外

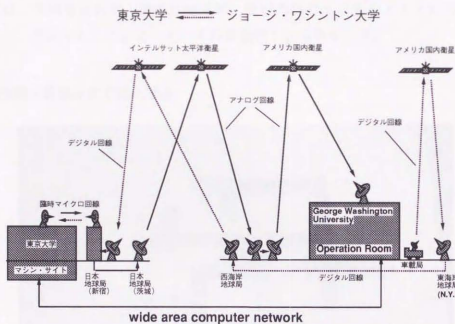


図 3.9: アメリカ合州国、ジョージ・ワシントン大学からの利用

ワイド・エリア・ネットワーク、及び衛星画像回線を利用して、アメリカ合州国のジョージ・ワシントン大学内の研究室を、オペレーション・サイトとして利用した。コンピュータ回線は、米国側のワークステーション上に日本側の X server のクライアント・ウィンドウを表示したため、基本的には前述の工学部八号館内での実験と同様のプロセス間通信がおこなわれたことになる (図 3.9) [MWHN91]。

3.3 実画像通信の必要性

本節では、実画像通信が、情報伝達効率、及び人間のメンタル・ストレスに与える影響を測定し、検討することによって、その有効性と必要性を示す。

3.3.1 遠隔玩具組み立て指示実験

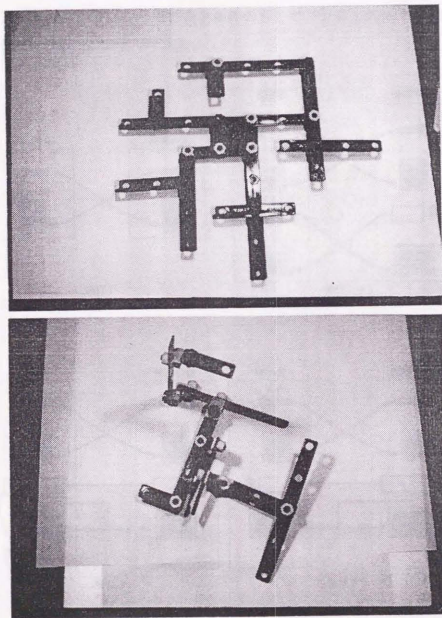


図 3.10: 二次元的な組み立てと三次元的な組み立ての例

実画像の有無が、空間型共同作業における情報の伝達効率へ与える影響を調べるための実験として、遠隔地から玩具の組み立てを指示するという実験をおこなった [Kuz87]。玩具は、プラスチック製の数種類の大きさの平版、ボルト、ナットから成る。被験者は、組み立てを指示する指示者と、指示にしたがって実際に玩具の組み立てをおこなう被指示者の二人である。玩具の組み立て形状は、二次元的な形状と三次元的な形状との二種類であり、それぞれ単純な形状 (部品点数が少ない) から複雑な形状 (部品点数が多い) まで用意された。与えられたいくつかの通信条件のもとで、コミュニケーションがおこなわれた。通信条件は以下の四通りである。

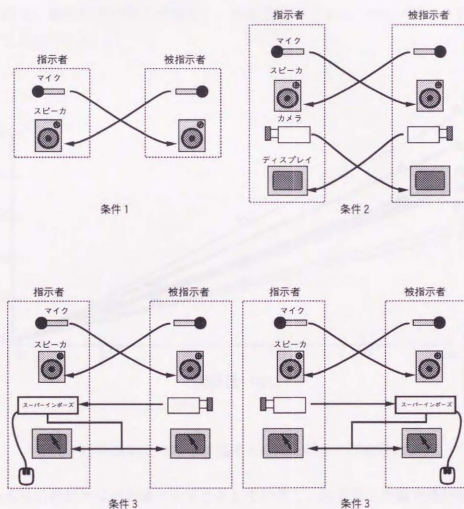


図 3.11: 玩具組み立て実験での通信条件

条件 1 音声のみの双方向通信。

条件2 音声、画像の双方向通信。

条件3 両者のテレビ画面には被指示者側の玩具の組み立て状況が映される。画像には矢印型のマウス・カーソルをスーパーインポーズし、指示者がこのカーソルを操作する。音声の双方向通信も利用する。

条件4 両者のテレビ画面には指示者側の玩具の組み立て状況が映される。画像には矢印型のマウス・カーソルをスーパーインポーズし、被指示者がこのカーソルを操作する。音声の双方向通信を併用する。

玩具は指示者、被指示者の両者が保有し、指示者側の玩具は、指示が開始される前に既に組み立てられている。

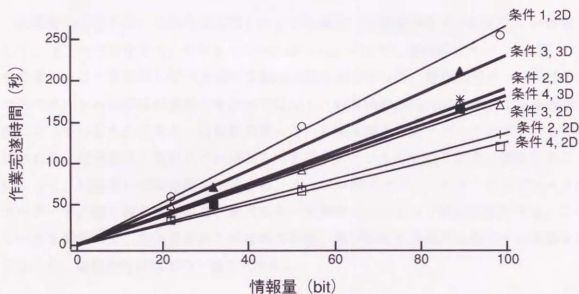


図 3.12: 玩具組立て指示に要する時間と玩具の情報量の関係

玩具の形状の複雑さは情報量の大きさとして計算し、情報量と作業完遂時間との関係としてグラフ化した。その結果、実画像を利用した場合は、音声のみによって作業指示をおこなった場合よりも2倍以上情報伝達効率が良いことが示された(図3.12)。また、実画像を利用している場合でも、その利用方法によって情報伝達効率が大きく異なることがわかった。しかしながら、組み立てる玩具の形状が立体的である場合には、平面的である場合と比較して情報伝達効率は半減し、また、実画像の利用方法の違いによる効

果も少ない。従って、形状が三次元的である場合、単に実画像を利用するのみでは効率の良い情報伝達はおこなえないことがわかった。

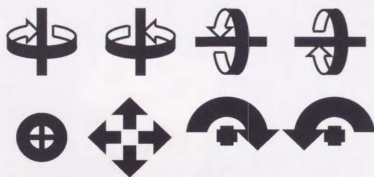


図 3.13: 動作指示カーソル

被験者の感想から、立体的な形状を指示する場合に実画像のみでは伝えにくい情報として、「三次元的な方向」があることがわかった。そこで、動作指示カーソル(図3.13)を考案し、これを利用して三次元的な動作表現をおこなった。動作指示カーソルは、マウスのカーソルの形状が通常の矢印型ではなく、対象物の回転方向を示すような図形表現になっているものであり、対象物の映っている実画像上にスーパーインポーズして利用される。指示者は、表現したい回転方向を表すカーソルの形状を任意に選択することによって、対話者に回転方向を伝達する。カーソル形状はパーソナル・コンピュータのキーボードに割り振られており、適当なキーを押すことによって形状が変化する。このツールを利用して、指示者がある対象物の移動、及び回転を遠隔から指示する実験をおこなった。通信条件は以下の三通りである。

条件1 音声のみの双方向通信を利用する。

条件2 音声の双方向通信を利用するとともに、被指示者側からの実画像に矢印型のマウスカーソルのみをスーパーインポーズする。

条件3 音声の双方向通信を利用するとともに、被指示者側からの実画像に動作指示カーソルのみをスーパーインポーズ(図3.14, 3.15)する。

実験結果を図3.16に示す。この結果から、動作指示カーソルを利用した場合には、作業指示時間が減少していることがわかる。これらの実験より、三次元的な作業空間にお

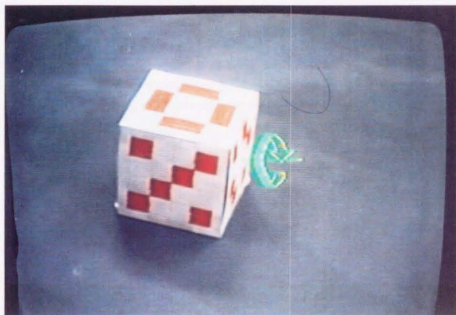


図 3.14: 動作指示カーソルを利用した回転指示

けるコミュニケーションでは、実画像が情報伝達効率の向上に効果的であるが、ディスプレイ画面が二次元的であるために、矢印型のマウス・カーソルを利用した場合であっても、三次元的な情報を表現するためには困難が残ることがわかった。また、動作指示カーソルのような非言語的な伝達手段がコミュニケーションの効率向上に有効であることがわかった。

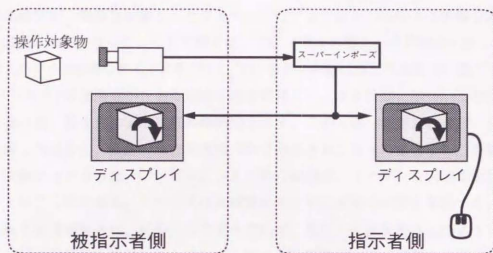


図 3.15: 動作指示カーソルを利用した通信実験: 条件 3

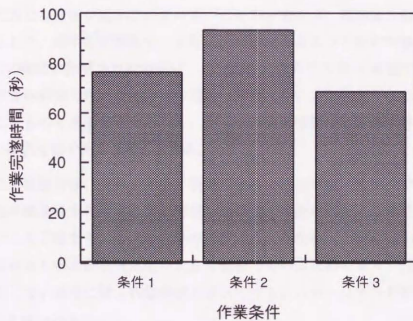


図 3.16: 動作指示カーソルによる作業効率の向上

3.3.2 NC フライス盤を利用した遠隔切削実験

実画像通信が、機器を対象としたコミュニケーションに対して与える影響を調べるための予備実験をおこなった。この実験では、NC フライス盤と、その操作に詳しい者(以後エキスパート)が同じサイトに存在し、NC フライス盤に関して比較的知識の少ない者(以後ノービス)が遠隔地からある通信手段を利用して、ある課題に基づいた切削の指示をおこなった。図 3.17 に実験装置の概略図を示す。このとき、実画像と音声の双方向通信を併用した場合と、音声の双方向通信のみで通信をおこなった場合との二種類の通信条件で実験をおこなった。ノービスに与えられた課題は、「モダンな灰皿を設計して下さい」というものである。ノービスは実験開始とともに灰皿の設計を開始する。ノービスには紙と鉛筆が渡され、紙の上に任意の図法で、形状と寸法を書き込むように指示する。ノービスが設計を終了したと判断した時点でエキスパートに切削を指示する。ノービスは、初期段階では、NC に可能な加工、被切削物の大きさ、形状に関する情報は与えられておらず、設計や加工をおこないながら、エキスパートとのコミュニケーションの中でこれらの情報を取得し、設計の修正をおこなっていく。

図 3.18 に実画像通信を利用した場合の、視覚情報の利用時間を解析した一例を示す。この中で「確認動作」に分類されている部分は、会話の最中、あるいは切削中などに、特に視覚的に新たな情報が提示されていないにもかかわらず、実画像を利用している時間である。これは、相手の理解度や、切削状況の確認をおこなうための動作であると考えられる。この確認に消費された時間は、視覚利用時間の中の 10% 程度であるが、個々の確認動作が数秒程度と短いため、その回数は非常に多い。このような確認は人間の不安感からおこるものであると考えられる。従って、画像情報は不安感を解消するための情報を有効に提供可能であると考えられる。

この実験での被験者は、文科系女子と機械工学科の男子学生二人ずつであり、それぞれの中で、実画像通信を利用する者と利用しない者とに分かれた。この時の作業時間は個人によって大きく異なり、画像の有無の影響は見られなかった(図 3.19)。これは、作業の完成度に対する個人的な満足度が大きく影響しているためであり、作業内容に明確な基準が存在しない場合には、作業時間によってコミュニケーションを評価することが困難であることがわかった。

この実験において、実画像通信を利用しなかった文系女子に対して、加工に利用されたのはどのような機械であったかを想像してもらったところ、「のみ」と「かなづち」以外に思い浮かばないとの感想が得られ、NC フライス盤のような複雑な機械の構造は、

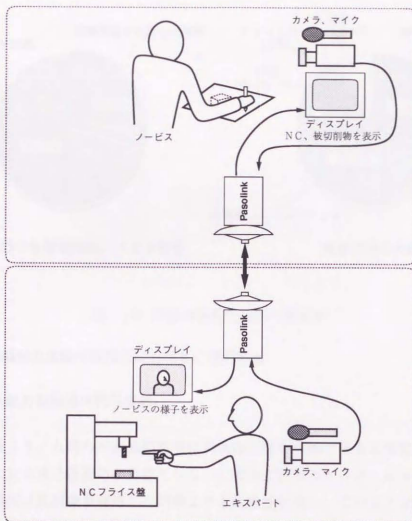


図 3.17: NC フライス盤の遠隔操作指示

それに対する知識が非常に少ないノービスに対して、音声のみで伝達することは相当に困難であることがわかった。また、この実験において切削された灰皿に対する主観的な評価としては、実画像を利用した場合ほど、凝ったデザインをおこない、より複雑な形状が切削されたという感想を持った。しかしながら、これはあくまでも個人的な評価であり、デザインを定量的に評価することは困難である。

この実験より、実画像は作業の確認、対話者の理解度の確認等、不安感という心理的な側面の解消に有効であるのではないかとこの感想を得た。また、このような実験においては、作業時間や作業の質によって評価をおこなうことが困難であることがわかった。

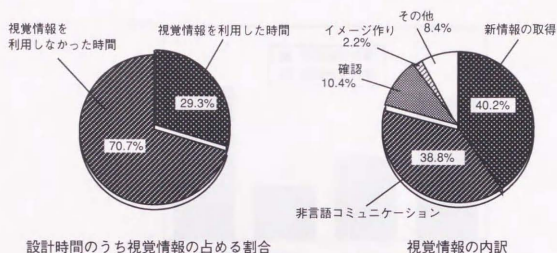


図 3.18: 視覚情報利用時間の解析例

3.3.3 工作機械の遠隔作業指示における心理的影響

NC フライス盤の遠隔操作指示実験

前述の実験より、人間の不安感の解消に実画像情報が有効であると仮定する。一般的に、過去に十分な意思疎通のなされていない二者間でのコミュニケーションでは、音声のみによる情報は実画像を利用した情報よりも曖昧性が高い。このような曖昧性は人間の不安感を増大させ、この不安感を低減させるために確認という行動をひきおこすと考えられる。ところが実画像が利用不可能である場合には、唯一の情報伝達手段として、音声を利用されることとなり、従って、「わかりますか」「いいですか」等の確認のための言語表現が増大すると思われる。そこで、実画像通信の有無が人間の心理状態、さらには会話に与える影響を調べるための実験をおこなった。

被験者は、指示者と被指示者の二人であり、被指示者はNC フライス盤と同じサイトに存在し、指示者は遠隔地から実画像と音声通信、あるいは音声のみの通信によって、コミュニケーションをおこなう。指示者は被指示者に対して、まずNC フライス盤の操作方法の説明をおこない、次に実際に数種類の操作をおこなわせる。5名の異なる指示者に対して、音声と実画像通信を併用した場合と、音声通信のみの通信を利用した場合との二通りの実験をおこなった。ただし、ここで採用した指示者の加工に対する知識は一定しておらず、あらかじめ利用した経験のある者から、化学を専攻する学生で、実験

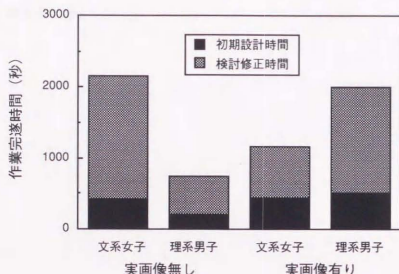
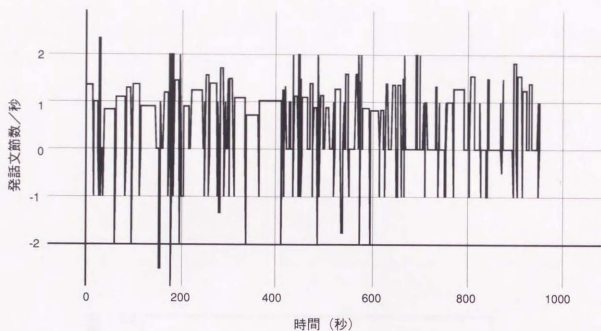


図 3.19: 通信条件と作業時間

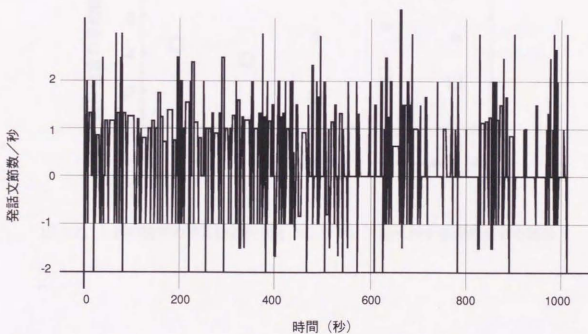
当日に利用方法を教えられた者までいた。

Chapanis らは通信条件を変化させた場合の単語数に注目した解析を行ない [Cha88]、通信条件がコミュニケーションに利用される単語数に影響を及ぼすことを示した。そこで本実験においても、コミュニケーションに利用された会話の文節数を数え、時間的な変化をグラフにした (図 3.20)。このグラフにおいて縦軸の正方向は指示者の、負方向は被指示者の発言文節数である。この結果、音声のみを利用したコミュニケーションでは、発話者が頻繁に入れ替わっているのに対し、実画像を利用している場合には比較的变化が少ないことがわかる。また、実画像を利用した場合には、指示者の一回の発話の継続時間が長いことが示されている。そこで、指示者の会話に注目して、実画像チャンネルの有無と、発言の継続時間の平均値との関係を分析し、グラフにしたものが図 3.21 である。この図より、実画像を利用しない場合には発言の平均継続時間が短いことがわかる。また、ビデオによる会話の観察からも、音声通信のみの場合には、被指示者からの「はい」「わかりました」等の確認のための返答が頻繁に起こり、指示者による確認の回数が増加する傾向が見られた。このグラフでは、指示者の NC フライス盤に対する経験度を主観的に見つもり、経験度の少ない順に左から右へ並べてある。この結果から、NC に関する知識が豊富であるほど発言の平均継続時間が全体的に減少していることがわかる。この実験の場合、NC に対する経験が豊富な者ほど、NC の危険性、故障した場合の被

害額等を意識するため、不安感が大きく、経験の少ない者は、比較的安易に指示をおこなっていると考えられる。



実画像通信を利用した場合



実画像通信を利用した場合

図 3.20: NC フライス盤操作の遠隔指示実験における会話量の時間的推移

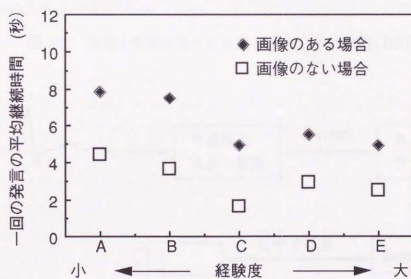


図 3.21: 1 回の発言の平均継続時間と NC フライズ盤に対する経験度との関係

MC の遠隔操作指示実験

次に、発言の継続時間とメンタル・ストレスとの関連を調べるために、加工の臨場感通信システムを利用して同様の実験をおこなった。図 3.26 に実験システムの概観図を示す。

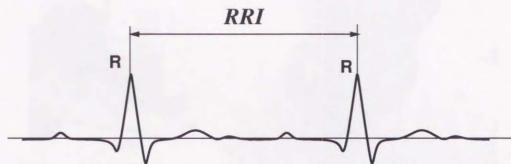


図 3.22: 正常心電図に見られる R 波、及びその間隔 (RRI)

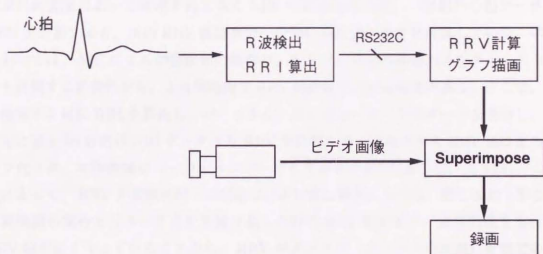


図 3.23: 実時間での RRV 計測

この時、メンタル・ストレスを測定する指標として、RRV(心拍変動量)を利用した。RRV は心電図に見られる R 波を胸部周辺にとりつけた電極から検出し、その間隔(RRI)の変動を計算することによって得られる(図 3.22) [Ito85, Ogi86]。RRV は当研究室における過去の実績より、メンタル・ストレスを測定する指標として妥当性が示されている。



図 3.24: 実時間での RRV 計測: 録画画面

従来当研究室において利用されてきた RRV の計測装置では、一分間の心拍データより RRV を計算すると、次の RRV 値は次の一分間の心拍データより計算していた。本実験においては、MC による切削開始の瞬間や、トラブル発生の瞬間のメンタル・ストレスをも計測する必要性から、より実時間で RRV 値が算出される必要がある。そこで、R 波を検知する毎に RRI を算出し、パーソナル・コンピュータへそのデータを送信し、一心拍毎に過去 30 秒間の RRI データより RRV を計算した。計算された RRV 値は直ちにグラフ化され、実験映像にスーパーインポーズして録画された(図 3.23, 図 3.24)。この方式によって、RRV と実験状況との対応づけが非常に簡便になった。図 3.25 に 5 分ごとに計算問題の実行とリラクセスとを繰り返した時の RRV 値を示す。計算問題を実行中の RRV 値が低くなっていることから、RRV がメンタル・ストレスの評価に有効であることがわかる。

図 3.27 に MC 遠隔操作時の RRV の変化を示す。ここで、“ws”はワークステーション上のパネルを操作している時間、“mc”が MC が動作している時間、“tr”がトラブルが発生している時間を示している。この結果から、MC の作動中や、トラブル発生時には RRV の値が低くなり、メンタル・ストレスが大きいことがわかる。一方、同様の実験において、実験中の発言の平均継続時間を、全会話の平均と、切削・工具の移動時のみの

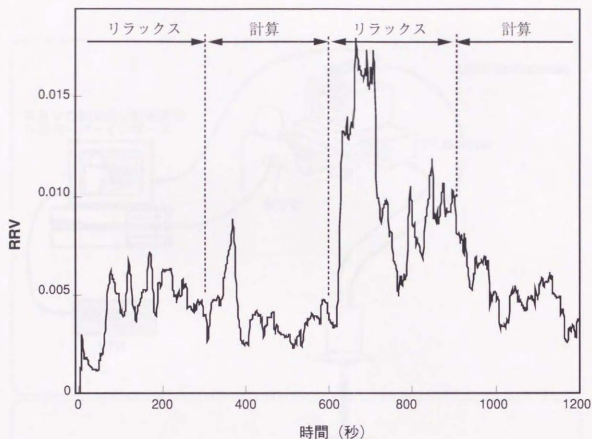


図 3.25: 課題を与えた場合の RRV の変化

平均とを比較した結果を図 3.28 に示す。この結果から、メンタル・ストレスが大きい時には発言の平均継続時間が短くなることがわかる。従って、前節の実験における結果より、実画像通信は人間のメンタル・ストレスの軽減に対して有効であると考えることができる。ただし、この結論は明確に示されたわけではなく、さらに実験が必要である。

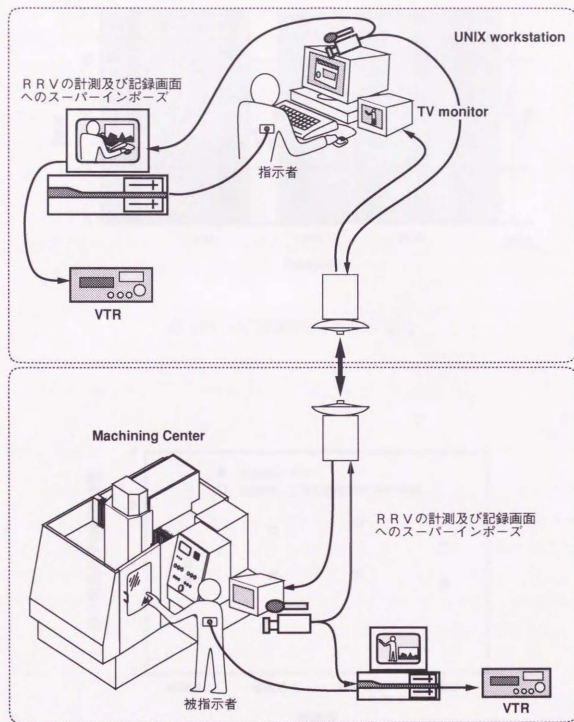


図 3.26: MC の臨場感通信システムを利用した実験

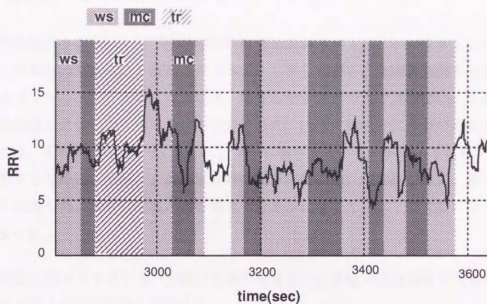


図 3.27: MC 遠隔操作時の RRV 変化

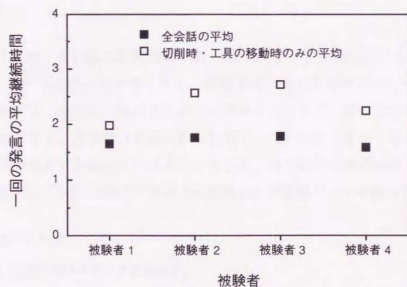


図 3.28: MC の臨場感通信システムを利用した遠隔操作時のオペレータの発言の平均継続時間

3.4 機械操作説明におけるコミュニケーション

以上の実験および考察より、空間型共同作業におけるコミュニケーションに対して、実画像通信が有効であることは明らかである。しかしながら、実画像通信も対面でおこなわれるコミュニケーションには、効率、理解しやすさ等の点で及ばない。すなわち、漫然と実画像を通信し合うのみでは不十分であり、円滑に対話者に自分の意志を伝達するためには、実画像の利用方法に関して、さらに検討する必要がある。コミュニケーションを解析するために、手振り、及び被験者の視野の時間的、空間的な変化、及び被験者の会話を記録した。解析の対象となる感覚チャネルに関して、以下の要領に従って実験をおこなった。

- 聴覚的なチャネルとして、会話が明瞭に聞きとれる程度の通信装置を用意し、このチャネル上の音声情報を記録する。
- 視覚的なチャネルは、視野の変化、視覚的な情報としての手振りに関して観察をおこない、これを記録する。ここで言う「視野」とは、被験者が見ているおおよその場所であり、ある程度の広さを許容する。一般に、「視線」「視点」という場合は厳密な位置を意味することが多いため、「視野」という言葉を利用する。

3.4.1 実験

MCの操作に関する知識の比較的多い者(指示者)が、比較的知識の少ない者(被指示者)に対して、その操作方法を指示する。被験者は双方とも実物のMC設置されているサイトに存在する。説明の内容はあらかじめ定められており、以下に示す指示書に基づいて指示をおこなう。指示者は手振り等を利用し、自由に指示をおこなうが、指示した操作を被指示者自身にもおこなわせることとした。以下に指示者の利用した指示書を示す。また、図3.29にMCの操作パネル上に配置された各種スイッチ類の名称を示す。

1. 電源の入れ方

- (a) 三相交流のスイッチを入れる。
- (b) マシニング・センタの後ろにある、マシニング・センタの電源とコンプレッサーの電源を入れる。
- (c) マシニング・センタの横にある電源を入れる。
- (d) マシニング・センタのパネル上の電源を入れる。

2. 座標系の説明

- (a) 座標系は、xyz 座標系。
- (b) 原点の位置。
- (c) x 軸の方向、y 軸の方向、z 軸の方向。

3. 原点復帰

- (a) 原点復帰は、マシニング・センタの持つ座標系の原点を補正するために、電源投入後必ずおこなう。
- (b) このダイヤルを原点復帰に合わせます。
- (c) このダイヤルで軸を選択します。
- (d) このランプがつくと、原点復帰が完了したことになります。このランプがつくまで、このダイヤルを-の方にいっぱい回したままの状態に保ちます。
- (e) 以上の操作を、y 軸とz 軸についてもおこないます。

4. 各部の説明

- (a) 主軸はこれで、ここに使用する工具がセットされます。y 軸方向とz 軸方向は、この主軸が移動します。
- (b) テーブルはこれで、この上に被削材をのせます。x 軸方向は、このテーブルが移動します。

5. 主軸の回転方法

- (a) 主軸起動のスイッチで、回転します。
- (b) 主軸停止のスイッチで、停止します。
- (c) 回転数は、主軸速度オーバーライドで変更します。
- (d) 回転数はパネルの右下の部分に表示されます。

6. 主軸の移動方法

- (a) ハンドルによる場合
工具の位置を調整する場合などは、このハンドルで移動させます。
 - i. まずこのモードスイッチを、ハンドルのところにセットする。
 - ii. 軸のモードをx 軸にセットする。
 - iii. そして、このハンドルを+の方に回すと+方向に、-の方に回すと-方向に移動します。
 - iv. 移動する度合は、このインクリメンタル送り量で $\times 100$ で $100\mu\text{m}$ 、 $\times 10$ で $10\mu\text{m}$ 、 $\times 1$ で $1\mu\text{m}$ に設定できます。

(b) ジョグ送りによる場合

一定速度で工具を移動させる場合などは、このジョグ送り機能を使います。

- i. まずこのモード・スイッチを、ジョグ送りのところにセットする。
- ii. 移動速度は、このスイッチで指定します。
- iii. 軸のモードをx軸にする。
- iv. そして、このスイッチを+の方に一杯に回したままの状態に保てば、+方向に、-の方に一杯に回したままの状態に保てば、-方向に設定した速度で移動します。スイッチを離せば停止します。

7. パネルの説明

現在このパネルは、主軸の現在位置を表しています。

8. 注意事項

- (a) 座標値は、x,y,zともマイナスの値しかとれません。従って、工具を移動させるときは、パネルを見ながら、座標値がプラスにならないように気をつけて下さい。
- (b) 作業をおこなわない時は、安全のためこのスイッチを原点復帰のところにセットしておいて下さい。
- (c) 非常事態が起きたときに、この非常停止ボタンを押すと、マシニング・センタのすべての機能が停止します。

9. 実験

それでは、実際にこの被削材を削ってみたいと思います。切り込む深さは5mm程度、主軸の回転数は1500rpm程度、移動速度は100mm/s程度が良いと思います。

10. 終了方法

- (a) 電源を切る前に、原点復帰をおこなわなければならない。
- (b) 安全のため、各軸とも20mm以内のところまで、ハンドルで移動させる。
(あとは、最初の原点復帰と同じ要領でおこなう)
- (c) このスイッチを原点復帰にセットします。
- (d) このスイッチで軸を選択します。
- (e) このランプが点灯するまで、このスイッチをマイナス方向に回したままの状態を保ちます。
- (f) 3軸とも原点復帰が終了したら、パネルの上の電源OFFを押します。
- (g) マシニング・センタの横の電源をOFFにします。
- (h) マシニング・センタの後ろの、2つの電源をOFFにします。

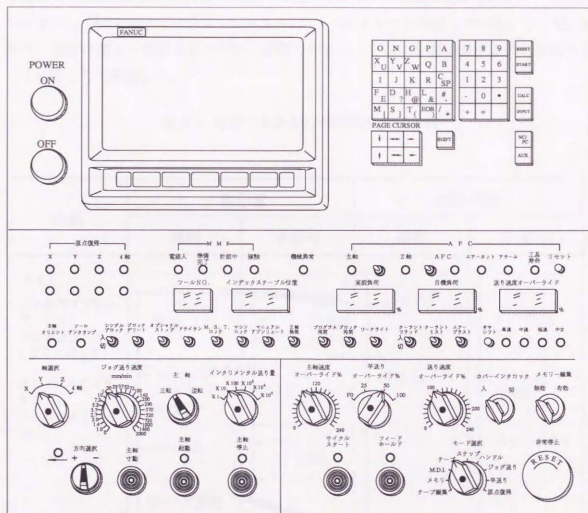


図 3.29: MC の操作パネル上の各部名称

(i) 最後に三相交流のスイッチを OFF にします。

この指示書に基づいておこなわれた対面による操作指示の様子は、ビデオ・テープに録画され、その後の解析に利用された。表 3.1 に解析例の一部を示す。非言語的な要因のうち、視覚にかかわる要因で、特に「動作」を考えることは前述した。従って、解析項目として、被験者が見ている場所(対話者の顔を見た場合も記録する)、および利用された身振りに注目した。身振りの中でも重要性の知られている手振りに関して解析をおこなった。具体的には、「会話」、「指示者の視野」、「指示者の手振り」、「被指示者の視野」、「被指示者の手振り」の5項目を設けた。録画された画像から行動を抽出するための判断の基準としては、非言語コミュニケーションに関する過去の研究結果を参

考とした。Ekman[ボ-81]は、身振りを表象(エンブレム)、身体操作(ボディ・マニピュレーター)、例示的動作(イラストレーター)の三つのタイプに分類している。そこで、手振り、視野に関して観察された行動、変化の中から、上記の分類に属すると思われるものを中心として記録した。

表 3.1: 対面による MC 操作説明の解析例

会話	教示者		被教示者	
	視野	手振り	視野	手振り
ええ、				
じゃあ今オフなん	0:29:51		0:30:31	
で、えーと、	ボタン	移動		下に降りし
このボタン		指さし		ている
しばらく押して	0:31:26	0:31:39		
放していただけま	被教示者	押す身振り		
すか?	0:31:53	手を引込める	ボタン	移動
これですか?	ボタン			0:33:08
はい。	0:33:51	ドアの把手		
	0:34:16	ドアを開める		ボタンを押す
	0:35:00			
	ワーク方面			
		手を耳へ		
え、放してください。	0:36:57		0:36:58	
			ワーク	
	被教示者		0:38:38	0:38:10
			パネル	
	0:39:65		0:39:37	放す
			ワーク	

3.4.2 コミュニケーションのパターン

コミュニケーションをインフォーマルに支援するためには、その時に利用される情報の種類を明確にし、可能な限りその全ての情報が伝達されるようにシステムを設計する必要がある。ここでは、表3.1のようにして記録されたデータから、指示者の情報伝達行動をその目的によって分類し、伝達されるべき情報の種類を明らかにすることを試みる。

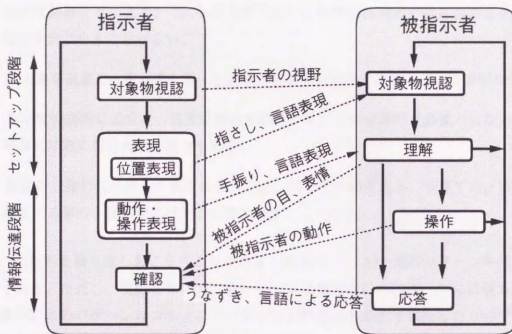


図 3.30: 指示者と被指示者のコミュニケーションのパターン

解析の結果、指示者、及び被指示者の視野移動や身振りは、ほぼ一定のループで変化することが観察された。すなわち指示者は以下の一連の行動を繰り返しおこなった。

対象物視認 説明をおこなうための、スイッチや工具等の対象物を視認する。

表現 次に、言語を利用しつつ、指さし等（指示動作）を併用して被指示者の視線を対象物に誘導する。その直後に、身振りを利用した対象物の動作や、操作の表現（象形動作）をおこなうことが多い。

確認 最後に被指示者の理解の程度、作業状況、あるいは意図した場所を見ていることの確認をおこなう。理解の程度は、被指示者の表情を見たり、言語で「わかりましたか」等の質問をすることによって確認をおこなう。作業状況は、被指示者の操作す

る手元を見ることによって確認をおこなう。また、被指示者の目を見ることによって指示者の意図した場所を見ていることの確認をおこなう。

一方、被指示者は、

対象物視認 まず、指示者の指示動作や象形動作に応じて、その方向へ視野を移動する。

ただし、これらの動作の前に、指示者の視野の移動や、指さしのための手の移動の過程を知ることにより、「これを見て下さい」等の言語表現の前におおよそその視野移動をおこなうことが多い。

理解 対象物を視認し、指示者と同一の対象を見つづ、言語や身振りによる説明を受ける。

操作 指示者の説明に基づき、実際に機械を操作する。これは操作を必要としない説明の場合にはおこなわれない場合もある。

応答 前述の二動作に比較して頻度は少ないが、指示者の顔を見る、うなずく、言語で返事をする等の、指示者に対する応答を返すことがある。

といった行動を繰り返しおこなうことになる。図 3.30 はこの一連のパターンを図示したものである。ただし、実際のコミュニケーションは厳密にこのパターンには従わない場合も多い。このパターンはコミュニケーションの特徴的な構造を抽出したものであり、かつ、空間型の作業に特徴的であると思われる動作のみに注目して考案されている。本論文においては、どのような順番でいかなる動作がおこなわれているかに関して、基礎的な理解がなされることで十分であると考えている。この図で指示者と被指示者との間に引かれた矢印は、言語表現による情報と、視覚的な非言語的手段によって伝達された情報を示す。すなわち、対話者の目、視野、及び身振りの情報である。この図より、被指示者の視野が誘導されるためには指示者の指さし動作が見えること、身振りによる動作表現を見るためには手と、対象物が重なって見えること、指示者が被指示者の見ている場所を確認するためには、その見ている場所を知ることが必要なことがわかる。また、この解析によって明らかになった特徴は、指示者が新たな対象物を指し示そうと指さし動作を開始すると、指示者が明示的に「ここを見て下さい」等と発言する以前に被指示者はその方向を見始めるということである。指示者は常に対象物を指し示しているわけではなく、被指示者も必ずしも指示者の指先を見ていない。むしろ被指示者は対象物を見ていることが多いにもかかわらず、被指示者の視野の隅で手が動くのを敏感に察知し、その方向へ視野を切替えはじめるようである。また、指示者が指さしを始める以前に、

目標確認の段階で、被指示者も同様の方向を見る場合もあり、これらの事実から、視野の広さは、お互いの動作を早期に察知し、素早く対象物を共有するために重要な役割を果たしていることが想像できる。しかしながら、本論文においてはハードウェア上の制約もあり、視野の広さに関しては積極的には扱わないこととする。

第二章 2.4 節において、コミュニケーションを、セットアップ段階と、情報伝達段階との二段階に分けたが、本実験においても、これらの段階が観察された。すなわち、指示者が対象物を視認し、被指示者に対してその位置を示し、被指示者がその対象物を視認して、両者が対象物画像を共有するまでの行動がセットアップ段階であり、その後指示者が動作・操作表現をおこない、被指示者がそれらを理解し操作をおこない、それらの確認がおこなわれるまでが情報伝達段階であると考えることができる。

これらの段階の中で見られた指示者の表現を、「位置表現」、「動作・操作表現」、「確認」の三種類に大別した。

位置表現 被指示者の注意、視野をある対象物に向けるための行動・表現。言葉では「これ」、「このボタン」といった、代名詞や修飾語＋名詞が利用されることが多く、それらの言葉に付随して、指さしに代表される例示的動作の中でも、指示動作に分類される手振りが利用されることが多い。

動作・操作表現 被指示者に対して座標系の x, y, z 軸方向や工具の移動軌跡の説明や、ボタン、ハンドル等の操作を伝達するための行動・表現。言葉では「こっち」、「こう回す」といった、代名詞や修飾語＋動詞で表現されることが多く、それらの言葉に付随して、手振りによって、動作が表現される。

確認 被指示者の理解度、見ている場所、実際の操作を確認するための行動・表現。言葉では「わかりますか」「いいですか」等の質問によって明示的に理解度や見ている場所を確認する。しかし、相手の目や顔を見ることによって同様の確認をおこなう場合の方が多い。また、被指示者の MC 操作を見ることによって、作業自身の確認もおこなう。

実際のコミュニケーションでは、これらの分類に含まれない表現も存在した。例えば、指を折りながら数え上げる動作や、強調のための動作等も観察された。しかし、今回の分類においては、空間型共同作業に特徴的であると思われる表現に重点をおいて抽出をおこなった。すなわち、空間的な位置・動作を伝達するために利用された表現に注目した。「確認」という分類を設けた理由は、被指示者の作業状況を視覚的に確認するため

には、的確な位置を撮影可能でなくてはならないため、やはり空間型であることの特徴を反映していると考えたからである。

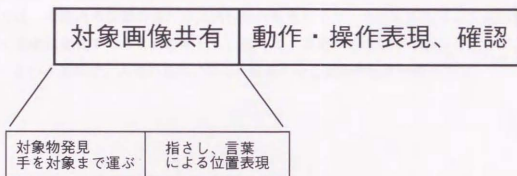


図 3.31: MC 操作指示におけるコミュニケーションの二段階と階層構造

位置表現はそれ自身、位置情報の伝達であるため、情報伝達段階であると考えられることも可能である。しかしながら、第二章 2.4.2 節で述べた通り、コミュニケーションの二段階は再帰的に存在すると考えられるため、ここでは、対象物画像共有段階をさらに下位のレベルへ分解した場合に表れる二段階の中の、情報伝達段階であると考えられる(図 3.4.2)。本論文では、それがどちらに含まれるべきであるかという厳密な定義が必要なのではなく、コミュニケーションの二段階が存在することを確認し、それぞれの段階に対する支援を考えることが重要である。

3.4.3 視野の変化

表 3.1 からわかるように、コミュニケーションのための視野の切替えは非常に頻繁におこなわれる。図 3.32 に NC フライス盤の操作方法を対面でおこなった時の指示者と被指示者との視野の変化を記録し、グラフにした例を示す。縦軸は被験者の視野の位置を表している。視野の位置として、1) 切削の工具、被切削物部分、2) NC の操作パネル、3) 対話者の顔、の三種類に区別した。このグラフにおいて、黒く塗り潰されている部分ほど視野を切替える頻度が高いことを示す。この例では、1 秒間に 2 回以上視野を切替えた例が多数存在した。MC の様な広い作業空間を占める作業対象では、当然視野を移動させる距離が大きくなることが予想される。事実、MC の操作・パネルと工具付近との間での頻繁な視野の切替えも観察された。このグラフから、対話者の顔を見るときという視野移動は指示者に多く見られ、指示者にとって、被指示者の理解度、あるいは視野(指

示者が見せようと意図した対象を見ているかどうか)の確認が必要であることがわかる。MCの対面による操作説明においても、平均して2、3秒に一回の視野変化が観察された。この結果から、このような機器の操作説明をおこなうためのコミュニケーションにおいては、空間内の複数の場所が共同作業の対象となり、しかもそれらが人間の意思によって柔軟に変化することがわかった。従って、実画像通信システムには、「どこを見るか」という意味で、人間の意思に伴った位置的な可変性の高さが望まれる。

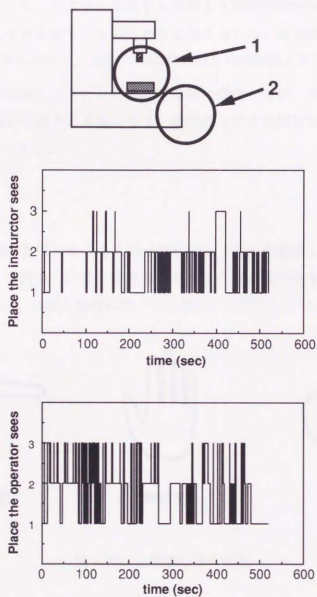


図 3.32: NC フライス盤の対面による操作指示時の視野の変化

3.4.4 表現解析

コミュニケーションを理解し、システムの評価に利用するために、手振り、及び言語表現の分類をおこなった。システムが表現手段に対して与える影響を、その表現の種類別に調べることによって、システムに対するどのような機能の付加が、どのような表現に対して影響を与えるかを知ることができると考えられる。本小節では手振り表現、及び言語表現の分類を明らかにし、以後の表現解析のための枠組とする。

まず、ある表現が伝達しようとした情報の種類を機能と呼び、表現を適当な機能に分類することを表現解析の基本とする。また、機能ごとにその利用回数を数えることを、機能解析と呼ぶこととする。

手振り表現

指示者がMCの操作説明をおこなう際に利用する手振りを観察し、分類することを試みた。本論文では、空間型の作業に特徴的であるような表現のみを解析したため、その他に含まれる手振りは、以後の解析において積極的には示されない。



図 3.33: 三種類の手の形状

手振りは、手の形状と、その形状によって表現される機能によって分類可能である。観察された二つの実験において、手の形状はわずかな例外を除き、図 3.33 に示した三種類が多用された。

指さし型 人さし指を伸ばし、それ以外の指は握った状態。いわゆる指さしをする形。

開放型 すべての指を伸ばし、開いている形。

つまみ型 親指と人さし指、中指等を合わせ、何かをつまむ形。

つまみ型はスイッチ類を操作する時の手の形を模擬したものであると考えられるため、ねじまわしの操作など、他の種類の操作が存在する場合には、上記以外の手の形状が必要となると考えられる。また、ある項目を数え上げる場合に、指を折っていく表現などは、今回除外された形状の例である。

これらの手の形状を用いて表現された機能は、以下の様に分類することができた。

位置 被指示者の視野にある場所に誘導するための表現。

領域 特定の対象物ではなく、ある広い領域を示す場合の表現。例えば、「このマシニング・センタ」「ここが加工する領域です」等の言語表現と同時に利用される手振り表現。

局所 「このボタン」等、特定の対象物・部分の表現。

相対 ある特定の対象物を示すのではなく、「高い位置」「奥の位置」等の、相対的な位置の表現。

操作 MCに附属する、各種ボタン、ハンドル、つまみの操作の表現。

押す ボタンを押す等の表現。

回す ハンドルなど、何回転もする操作表現。

ひねる つまみ、回転スイッチなど、1回転以上せず、ひねるだけの操作表現。

動作 MCの工具、ワーク等の動作方向の表現。図3.30では動作・操作表現に分類されるが、本論文では、より細かく解析をおこなうために、前述の操作表現と区別する。

回転 工具の回転等の表現。

直進 工具の進行方向等の直進する部分の表現。また、必ずしも直進ではないが、工具が移動する軌跡を表現する場合もここに含めた。また、工具の座標系の持つ、座標軸の説明のための表現も含まれている。

以上の分類に基づいて、実験でのコミュニケーションに利用された表現を数えた結果の平均値を表3.2に示す。この解析に利用された実験の被験者は2組であり、指示者は1人である。この解析からわかるように、本実験におけるコミュニケーションに限れば、

表 3.2: マシニングセンタの操作説明に利用された表現

		指さし型	開放型	つまみ型	その他
位	領域	1.5	7.5		
	局所	108.5	8.5		
置	相対		2		
操	押す				
	回す	0.5	0.5	5.5	
作	ひねる			7.5	
動	回転			0.5	
作	直進	19.5		0.5	
	その他		覆い隠す		数え上げる 幅を示す

利用される手の形状は3通り程度であり、また、その機能も限定されている。さらに、利用されなかった組合せが大部分であり、10回以上利用された表現のみを挙げると、

- 指さし型・直進動作表現
- 指さし型・局所位置表現
- 指さし型・相対位置表現
- 開放型・領域表現
- 開放型・局所表現
- つまみ型・回転操作表現
- つまみ型・ひねり操作表現

の7種類のみである。この結果から、手振りによって実際に利用される表現はその種類は少なく、定型化されており、あいまい性を少なくしていることが予想される。本結果は限られた被験者数における実験であり、一般的な結論を明言することはできないが、次章以降における実験からも同様の傾向が伺われる。

本論文における手振りの解析では、ここに示した通り、手振りの形状とその表現内容によって分類し、コミュニケーション中でそれらが利用された回数を数えることとする。

言語表現

言語表現解析のための詳細な説明は付録Aにおいてなされる。基本的には手振りの解析同様、言語表現をその機能に応じて分類し、それぞれの利用数を数えることによって評価をおこなう。機能は主に位置表現、操作・動作表現に分類される。しかしながら、実験の内容に応じて適宜変更するものとする。また、この分類の際に、言語の代名詞、名詞、形容詞、形容動詞、動詞など、品詞による分類もおこない、利用された言語表現をより多角的に解析する。これを特に「品詞解析」と呼ぶ。このとき、「空間語」という分類を利用するが、これは空間的な位置、動作を表現するために利用される言語表現である[YAH⁺90]。

本実験での被験者においては、位置表現のために利用された空間語は無く、全て「それ」「これ」といった、代名詞が利用されていた。これは指示者によって異なると思われるが、いずれにしても空間語は少ないであろうことが予想される。ただし、「ボタン」「スイッチ」「ランプ」等、対象物それ自身を表現する名詞は多く利用されている。これは、位置自身は手が届く範囲であれば、指さしによって明確に示すことができるが、対象物の名称は手振りによっては表現しづらいためであると思われる。実験を記録したビデオ・テープの観察から、指示者がある対象物を示す場合、直接その対象物に指先を接して指さしをおこなっている場合であっても、その対象物の名称を発言する傾向があることがわかる。

操作表現においても空間語はほとんど見られなかったが、「しばらく(押す)」「ずーっと」「おもいきり」といった、状態の副詞が見られた。また、「押す」「離す」「持ち続ける」「する」といった動詞は、ある対象の操作を指示するたびに利用された。これも名詞同様、手振りによる表現が困難なためであると思われる。

位置表現、操作表現の場合とは異なり、座標系説明においては、空間語が比較的多く利用された。座標系説明とは、MCの持つ座標系に関する説明であり、この座標系を利用して、工具(被切削物を切削するためのドリル類)の位置の座標値が示される。表3.3に、座標系説明において利用された空間語の種類をしめす。空間内の「奥」「手前」といった、相対的な方向や位置関係は、これを発言する時に利用される手振り表現も存在するが、それのみでは明確ではないため、言語表現が多用されると考えられる。

位置や向きを明示する空間語	方向提示型	上、下、左、右、前、後手前、奥、手前、向こう
	軸提示型	水平、鉛直

3.5 本章のまとめ

本論文では空間型共同作業として、機械操作説明のためのコミュニケーションを研究対象とする。コミュニケーションは二つのサイトに分散した二人の人間の、一対一のコミュニケーションを扱う。このとき、一人は機械操作に関して比較的知識の多い者であり、もう一人は比較的知識の少ない者である。以後、前者を指示者と呼び、後者を被指示者と呼ぶこととする。

予備的な実験より、玩具組み立て形状の伝達においては、実画像通信を利用した場合の方が、音声のみの通信よりも二倍以上情報伝達効率が高いことがわかった。また、その形状が三次元的な形状である場合には、二次元的な形状の伝達と比較して、情報伝達効率が低くなることが分かった。すなわち、単に実画像通信をおこなうのみでは、三次元的な作業空間に関するコミュニケーションは、二次元的な作業空間に関するコミュニケーションよりも困難であることがわかった。この困難さの要因として三次元的な動作の表現を挙げ、この問題に対して動作指示カーソルを採用することによって、情報伝達効率が向上することを確認した。この結果より、非言語的な感覚チャネルとして、対話者双方が共有する、符合化された表現を、実画像にスーパー・インポーズすることが有効であることがわかった。

心理的な影響については、RRV 及び会話の平均継続時間を測定することにより、実画像がメンタル・ストレスを低減させるという考察をおこなった。

MC の操作説明の観察より、図 3.34 のようなコミュニケーションの二段階が確認された。すなわち、セットアップ段階は対象物画像の共有をおこない、情報伝達段階においては動作・操作の伝達がおこなわれることが観察された。従来のシステムは固定的であったが、セットアップ段階に注目することにより、空間型共同作業でのコミュニケーションを支援する実画像通信システムには、「どこを見るか」という意味で、人間の意思に伴った位置的な可変性が高いことが望まれることがわかった。

表現解析の枠組として、手振り表現は、手の形状と表現の機能によって分類し、それぞれの利用回数を数えることとした。また、言語表現は、表現の機能と品詞による分類をおこない、それぞれの利用回数を数えることとした。

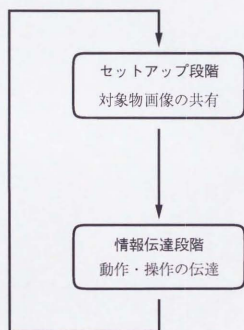


図 3.34: 空間型共同作業のコミュニケーションにおける二段階



第4章

実画像通信を媒体とした空間型共同作業コミュニケーション

4.1 諸言

前章における実験より、空間型共同作業でのコミュニケーションにおいて実画像通信が有効であること、セットアップ段階と情報伝達段階とが存在すること、セットアップ段階を支援するためには、人間の意思に伴った実画像通信システムの位置的な可変性が高いことが必要であることがわかった。一方、既に実画像通信システムは過去、いく通りかの実用例や、研究例が見られている。従って、これらの前例が空間型の共同作業に対して持つ有効性、あるいは問題点を明らかにしておく必要がある。

本章では、従来の実画像通信システムを利用したコミュニケーションと、対面におけるコミュニケーションとを比較し、実画像通信に起因する問題点を明らかにする。そのためには、各種の通信条件におけるコミュニケーションの実験を数多くおこない、解析する必要がある。この目的のために、まず、機械操作説明を模擬した単純な作業を考案する。そしてこの作業を利用した実験結果に基づき、実画像通信システムに必要な機能をまとめる。

4.2 モデル作業

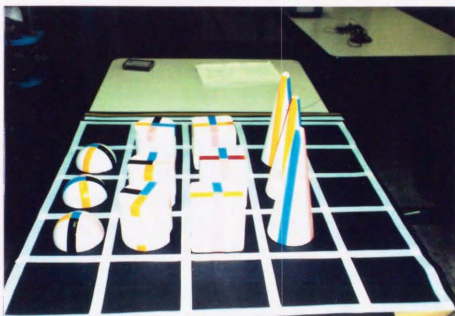


図 4.1: モデル作業用の基盤目と立体 (モデル作業空間)

MC の操作説明実験は、実験装置の設定が困難であること、実験自身に時間を要すること、指示者となることのできる被験者が非常に少ないことから、その実施は容易ではない。より多くのデータを収集するためには、機械操作説明を模擬した、より簡便な作業を考案し、より多くの実験をおこなうことが有効であると考えられる。作業考案に際しては、機器操作説明実験の解析によって明らかになった表現、行動を含むこと、容易に指示をおこなうことが可能で、指示者となる被験者の数を多くすることの可能であるような作業とした。以後、この作業をモデル作業と呼ぶこととする。このモデル作業では、平面上に描かれた5×5の基盤目の適当な位置に、立方体、円柱、三角錐、半球の4種類の立体(作業対象物)を複数個配置する(図4.1)。この基盤目と立体、及びそれらが空間に占める範囲を、モデル作業空間とよぶ。指示者の指示に従って、被指示者はある立体を別の場所に移動したり、指示された方向へ回転させる等の作業をおこなう。複数種類の立体はMCの操作盤に配置された、異なる種類のボタン、ハンドル等を模擬したものである。適当な立体を指定し、その場所を移動する指示は、MCの任意の場所を被指示者に見せるための指示を模擬したものである。さらに、立体を適当な方向に回転させる動作は、MCにおける座標軸の説明、ハンドル等の操作方向などの、三次元的な表現を模擬したものである。

作業課題は3種類あり、図4.2に示した指示書に基づいておこなわれる。指示者と被指示者の組は、1回の実験でこの3種類の実験を、課題1, 2, 3の順番で、全ておこなうこととする。被指示者側の作業空間には、初期状態として、指示書に示された位置に立体が配置されている。指示者は作業開始とともに、指示書に示された番号の順番に立体の操作を指示する。 x, y, z の3軸に回転方向が記入されている記号(回転記号)は、立体を回転させる方向と、その回転角度を示す。それ以外の矢印(移動記号)は、立体を矢印の先端が示す、別のます目へ並行移動させることを示す。指示書中で、立体の描いてある場所に回転記号がある場合には、並行移動をおこなう前に回転指示をおこない、その後並行移動をおこなう。並行移動先に回転記号がある場合には、並行移動を指示した後に回転指示をおこなう。ここで、便宜上、指示書において下から上へ向かう方向を、モデル作業空間上の正方向であるとする。モデル作業では、実験開始前に、指示者はできるだけ早く作業を完了するように指示される。

4.3 従来の通信手段を利用したモデル作業の指示

まず、従来のテレビ会議システム、産業用の監視装置、CSCWの分野で考案された手法等、既存のコミュニケーション手段を利用して、モデル作業の遠隔指示をおこない、会話解析を利用することによって問題点をより明確にすることを試みた。このとき、手振りの有無、及び対面と実画像通信の違いがコミュニケーションに与える影響に注目した。具体的なコミュニケーション手段は、次の4種類である。

条件1 (対面・手振り有り) 指示者と被指示者が同一のサイトに存在し、対面した状態でコミュニケーションをおこなう。両者はモデル作業空間を、任意の方向から見ようこととする。指示者は作業を指示するために手振りの利用等、基本的に自由に指示をおこなうことができるが、作業対象物を移動させてはいけない。実際の移動、回転作業は被指示者がおこなう。以後、この通信条件を「対面・手振り有り」と表現する。

条件2 (対面・手振り無し) 指示者と被指示者は対面でコミュニケーションをおこなうが、指示者は手振りの利用が禁止され、言葉のみで指示をおこなう。以後この通信条件を「対面・手振り無し」と表現する。

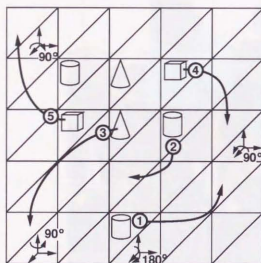
条件3 (遠隔・固定・手振り有り) 指示者と被指示者とは別々のサイトに別れ、モデル作業空間は被指示者側のサイトに設置される。モデル作業空間は被指示者の後方より

撮影され、指示者のサイトへ送られる。指示者は20インチのディスプレイを利用して、この画像をモニタリングする。指示者は、図4.5の様に、作業空間が映されているディスプレイ上で、指さし等の手振りを利用して指示をおこなう。このとき、ディスプレイ上の映像と指示者の手振りを再びテレビカメラで撮影することによって、疑似的に手振りをモデル作業空間画像にスーパーインポーズする。この画像を再び被指示者側サイトに送信し、被指示者の作業空間の前方におかれたディスプレイ上に映し出す。被指示者はこの画像と音声によって作業指示を受ける。この条件では、固定して設置されたカメラ、ディスプレイを利用しているため、以後、この通信条件を「遠隔・固定・手振り有り」と表現する。

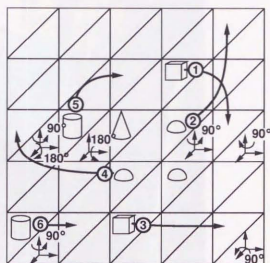
条件4 (遠隔・固定・手振り無し) 指示者と被指示者とは別々のサイトに別れ、モデル作業空間は被指示者側のサイトに設置される。モデル作業空間は被指示者の後方より撮影され、指示者のサイトへ送られる。指示者は20インチのディスプレイを利用して、この画像をモニタリングする。指示者側から被指示者側へは画像は送られない。音声は双方向に接続されているため、指示者からの指示は音声のみによっておこなわれる。以後、この通信条件を「遠隔・固定・手振り無し」と表現する。

条件4の手法は、Tangらによって、二次元平面上での描画作業のために考案された手法[TM90]を、三次元空間内での作業に応用したものである。条件3、4とも、モデル作業空間全体が画面内に入るように撮影した。また、このとき、モデル作業空間内の立体は十分に認識が可能である程度の大きさで撮影された。実験に利用された画像、及び音声はそのままビデオ・テープに記録され、後の解析に利用された。また、指示者がモデル作業の指示を開始してから終了するまでの時間も測定された。

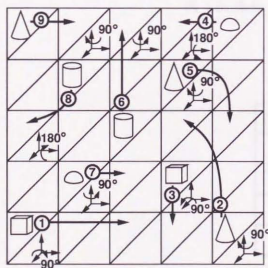
指示者、被指示者とも工学部、機械工学科の4年生以上の学生である。実験数は、対面・手振り有り:10組、対面・手振り無し:7組、遠隔・固定・手振り有り:11組、遠隔・固定・手振り無し:7組である。



課題1



課題2



課題3

図 4.2: モデル作業課題



図 4.3: 条件1(対面・手振り有り)

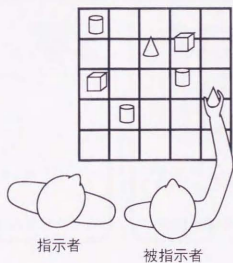


図 4.4: 条件2(対面・手振り無し)

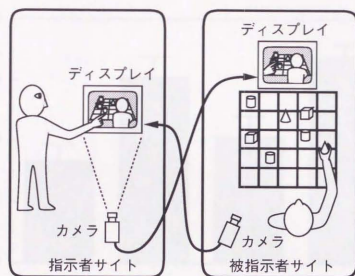


図 4.5: 条件 3 (遠隔・固定・手振り有り)

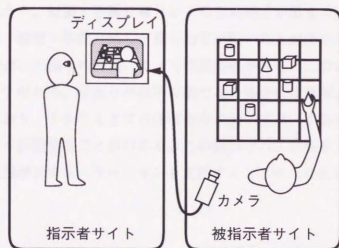


図 4.6: 条件 4 (遠隔・固定・手振り無し)

4.3.1 作業完遂時間

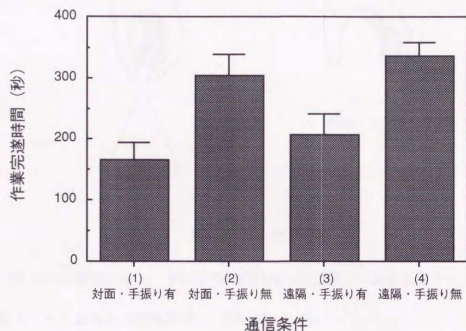


図 4.7: モデル作業実験における作業完遂時間

モデル作業実験の作業完遂時間の、各通信条件における平均値、及び標準偏差を図 4.7 に示す。この結果から、対面・手振り有による作業指示が最もコミュニケーションの効率が高く、遠隔・固定・手振り無しが最も効率が低いことがわかる。この結果において特徴的であるのは、手振りの有無によって作業時間が大きく二つのグループに分けられることである。すなわち、手振りが利用可能である場合には遠隔、対面とも作業時間が大きく減少しており、1 から 4 までの通信条件においては、手振りの有無がコミュニケーションに大きく影響することがわかる。この結果から、手振り、あるいはそれに相当する視覚的な表現がコミュニケーションを支援するシステムに必要であることが明らかである。

4.3.2 手振り表現解析

モデル作業において利用される手振りの種類を解析することによって、手の形状は以下の様に分類されることがわかった。

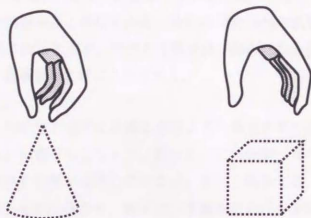


図 4.8: 掴み型の種類

指さし型 人さし指を伸ばし、それ以外の指は握った状態。いわゆる指さしをする形。

開放型 すべての指をある程度伸ばし、開いている形。

掴み型 対象物を掴む時の手の形をイメージした形。円錐の操作指示をする場合には円錐の先端を掴むイメージで手を小さく開き、立方体の操作指示をする場合には手を大きく開く(図4.8)ことが観察された。従って、手の形状は多少異なるが、対象物を掴む時の形状であるため、一つの範疇に含める。

実際には、例えば解放型と掴み型の中間的な形状が利用された例が観察されたが、本論文では著者の主観的な判断に基づいて、どちらか一方に分類した。これらの手の形状を用いて表現された内容(以後、機能と呼ぶ)は以下の様に分類される。

位置表現 ある対象物を示したり、その移動先の位置を示す。「これをここへ移動して下さい」といった言語表現と併用される。

方向表現 (位置表現) 対象物の移動先を表現する場合、移動する方向を指示し、その距離を言語で表現する場合がある。例えば、「こちらの方向へ一つ移動して下さい」という言語表現があり、その時に併用される、移動方向を示すための指さし等の表現。従ってこの表現は、位置表現の一部であると考えられるが、手振りの特徴を明確にするために、特に分離した。

回転表現(動作・操作表現)対象物の回転を指示する表現。「こちら向きに回転させて下さい」といった言語表現と併用される。前章のMCの操作説明における表現では、**動作・操作説明**に対応するが、モデル作業では、特に回転を表現する手振りにのみ注目するため、**回転表現**と呼ぶことにする。

モデル作業では、MC操作説明に必要な表現よりも限定された表現を利用するため、モデル作業に合わせた分類をおこなった。従って、この分類、及びその名称は必ずしもMCの操作説明における分類とは同じではない。また、後述する、モデル作業の言語表現解析における分類とも多少異なる。例えば、手振りにおける**方向表現**と併用される言語表現は、言語表現解析において**位置表現**に分類され、**方向表現**という分類は設けていない。手振りにおいて**方向表現**を特に設けた理由は、通信条件による特徴がこの表現の利用数の差に表れるためである。しかしながら、言語表現を**方向表現**と**位置表現**とに区別することは困難であるため、この分類を設けなかった。

表 4.1: 対面・手振り有りにおける手振りの平均利用回数。()内は %

	指さし型	開放型	握み型	合計
位置	39.5 (66.5)	0 (0.0)	0.1 (0.2)	39.6 (66.7)
方向(位置)	0.2 (0.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	0.2 (0.3)
回転(動作・操作)	0.6 (1.0)	0.3 (0.5)	18.7 (31.5)	19.6 (33.0)
合計	40.3 (67.8)	0.3 (0.5)	18.8 (31.7)	59.4 (100)

表 4.2: 遠隔・固定・手振り有りにおける手振りの平均利用回数 ()内は %

	指さし型	開放型	握み型	合計
位置	36.8 (65.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	36.8 (65.7)
方向(位置)	1.4 (2.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	1.4 (2.4)
回転(動作・操作)	2.4 (4.2)	0.7 (1.3)	14.7 (26.3)	17.8 (31.8)
合計	40.5 (72.4)	0.7 (1.3)	14.7 (26.3)	56 (100)

表 4.1に**対面・手振り有り**で利用された手振り表現の平均利用数、手の形状と機能で分類した結果を示す。一部の例外を除き、位置表現には指さし型、回転表現には握み型

が利用された。ただし、指示者がこれらの表現を利用するためには、各対象物に対して十分に手を近づけて指示をおこなう必要があり、身体を動かすことを怠って指示をしようとした場合には手振りを利用せずに言葉のみで説明をする場合が観察された。



図 4.9: 手振りによる回転軸と回転方向表現

表 4.2 に遠隔・固定・手振り有りでの手振りの解析結果を示す。指さし型による位置表現、掴み型による回転表現ともわずかに減少し、その代わりに、指さし型による回転表現、指さし型による方向表現等がわずかに増加していることがわかる。これは、指示者にとってディスプレイ上での手振りの利用が、対面と比較して困難であることから、対面とは異なる方策を採ろうとしたためであると予想される。一部の被験者は、対象物の回転操作の指示を、回転軸と、回転方向を示すことによって示そうとした。すなわち、指さし型で回転軸に沿って指を前後させることによって軸を示し、次に回転の方向を指先の動きによって表現した(図 4.9)。このように、対面においては利用されなかった表現が、遠隔・固定・手振り有りでは利用されたことから、実画像通信装置を利用した場合であっても、対面で利用する場合と比較して、手振りが利用しづらいことを示していると考えられる。

4.3.3 言語表現解析

モデル作業に見られた空間語を表 4.3、4.4 に示す。

これらの空間語に付随して表れてくる、「向き」「方向」「軸」は、そのみでは空間的な位置を表現するための情報として乏しいと考え、数えていない。「斜め」という言葉は、例えば「右上」と「右斜め上」とは同じ意味であるため、1 表現として数えるかどうか疑問が残るが、実際の会話の中では、対象物が作業平面の左端に存在し、それ以上左側に存在しない場合など、単に「斜め上」といった表現で右斜め上を示すこ

表 4.3: モデル作業に見られた位置表現のための空間語

対象間の関係を表現する空間語	間、隣	
位置や向きを明示する空間語	距離提示型	～つ、～個
	方向提示型	上、下、左、右、前、後手前、奥、斜め、手前、向こう
	局所提示型	真ん中、端、隅、コーナー、角
	参照型	今の

表 4.4: モデル作業に見られた動作表現のための空間語

位置や向きを明示する空間語	距離提示型	～度
	方向提示型	時計回り、反時計回り、手前、右、左、向こう
	その他	倒すように

ともあり、この場合には「斜め」は重要な意味を持つこととなる。そこで、表現数を数える方法の明確さ保つために、ここでは「斜め」という言葉を全て数えることとした。

言語表現の機能は、以下の要領に従って「位置表現」、「動作・操作表現」、「確認」に分類する。

位置表現 位置を指定するために利用された表現。モデル作業では、被指示者にある立体を注目させるための表現と、立体を並行移動させるために、特定のまず目を指定するための表現である。会話においては、位置を指定するために利用された、「真中」、「右」、「隣」等の空間語、「丸い」等の形容詞、「円柱」、「立方体」等の普通名詞が数えられる。空間語はそれぞれを一つとして数えるため、例えば「右斜め前」といった空間語が複合した表現は「右」、「斜め」、「前」の三つに数えられる。

動作・操作表現 モデル作業実験では、立体の回転操作を指示するための表現、及び対象物を移動させるために利用された表現。言語表現においては、「回転させて下さい」「移動させて下さい」等の動詞が数えられる。また、回転動作の方向を表現するために利用された、「時計回りに」、「右に」等の修飾語が数えられる。ただし、移

動先の位置を表現するための言葉は前述の位置表現に数えられるため、ここでは扱わない。

確認表現 対象物や回転方向が正しいかどうかの確認をおこなうための表現。基本的には被指示者の「これですか?」「いいですか?」といった、質問形の発話に対し、「はい」、「そうです」等と、指示者が応答した場合。又は指示者が被指示者に対して、「わかりましたか」等と、確認のための質問をした場合に、指示者が被指示者の理解に対し、関心度が高いと判断し、数える。確認表現に関してはこのように定義のあいまい性が大きく、情報量との関連も少ないため、単に被験者の心理的な側面を反映するであろう指針として利用する。

言語表現は、手振り表現以上に、上記の分類に含まれないものが数多く存在するが、本論文においては、その研究目的から、空間型共同作業に特徴的であると思われる表現のみを抽出し、分類した。また、本分類は手振り表現における分類と異なるが、これは、各々の表現手段の特性をより明確に示そうとした結果である。手振り表現における方向表現、回転表現は、言語表現においてはそれぞれ、位置表現、動作・操作表現に含まれる。

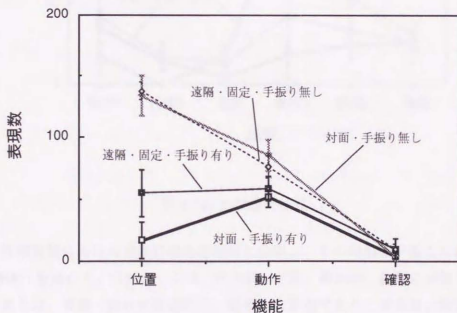


図 4.10: 言語表現の機能解析結果

図 4.10 に言語表現を機能ごとに分類し、その表現数を数えた結果の平均値 (以後、機能解析)、及び標準偏差を示す。グラフの x 軸で、「動作」と記述されているのは、動作・操作表現のことである。この結果の中では対面・手振り有りが最も表現数が少なく、対面でのコミュニケーションでは言語に対する負荷が相当に少ないことを示している。遠隔・固定・手振り無しと対面・手振り無しとはほぼ同様の結果であることから、対面でのコミュニケーションの円滑さの要因として、手振りが大きな役割を果たしていることがわかる。遠隔・固定・手振り有りの設定においては、手振りの利用が可能となり、手振りが利用できない場合と比較して、各表現数も大幅に減少する。特に位置指定表現数は大きく減少している。しかしながら位置表現、動作・操作表現、確認表現とも対面・手振り有りと比較して依然として多い。

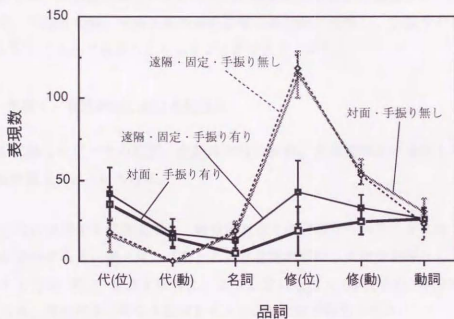


図 4.11: 品詞解析結果

モデル作業実験における言語表現を品詞毎に分類し、その利用数を数えた結果の平均値 (品詞解析) を求めた。品詞としては、代名詞、名詞、修飾語、動詞に分類した。ここで、修飾語とは、普通・固有名詞以外の、記述的な表現であり、形容詞、形容動詞、副詞 (状態、程度の副詞)、名詞 + 格助詞で修飾語となった文節であるとする。空間語はこの修飾語の中に含まれる。本論文における品詞解析においては、代名詞、及び修飾語を、さらにその機能によって、位置表現と動作・操作表現とに分類し、別々に数えた。名詞

はその機能のほとんどが「円柱」、「立方体」等の対象物を表す普通名詞であり、動作・操作を表現するための名詞は本実験における被験者からは得られなかった。従って、これらの名詞はある位置に存在する対象物を示すための表現であると考え、ここでは、全て位置表現のための名詞であると考えた。また、動詞は全て動作・操作表現に利用されたため、ここでも特に分類をおこなわなかった。機能解析においては代名詞は扱わなかったが、品詞解析においては代名詞も数えることとし、機能別に分類した。言語表現の品詞解析結果、及び標準偏差を図4.11に示す。このグラフのx軸で、「代」は代名詞、「修」は修飾語を省略した表記である。また、「(位)」は、位置表現のための品詞であること、「(動)」は動作・操作表現のための品詞であることを示す。この結果より、位置表現、動作・操作表現とも修飾語の変化が名詞、動詞の変化に比較して多いことがわかる。

本実験では、実験数が限られているため、統計的な有意性を議論することはできないが、時間、手振り表現、言語表現の解析結果を総合的に判断し、手振りがコミュニケーションに対して有効であることを示すことができたと考ええる。

4.3.4 手振り、言語表現における問題点

実験を記録したビデオの観察、会話の内容の解析、及び被験者の感想より、位置表現に関する問題点を以下にあげる。

- 指示者の意図する位置表現と、被指示者がその表現から得る位置に対する認識が異なる場合がある。例えば、「前」という言語表現は、人間を基準として、自分より離れる方向(前方)を表す場合と、より自分に近づく方向(手前)を表す場合とが考えられ、両者が全く異なる方向をイメージした例が観察された。
- 遠隔・固定・手振り有りではディスプレイ上に映る映像に対して、画面上で指さしをおこなうが、画像が作業空間を高さ方向に対して斜めの方向から撮影しているため、画面上でのます目が狭くなり、それに対して指が太すぎるため、指さしのみでは指示者は明確に特定の位置を示すことができない。また、対象物によって、その背面の対象物やます目が隠され、やはり指さしのみで明確に対象物や位置を示すことができない。これらの原因による指さし表現のあいまいさは、言葉によって補わなければならない。

動作指示に関する問題点は、

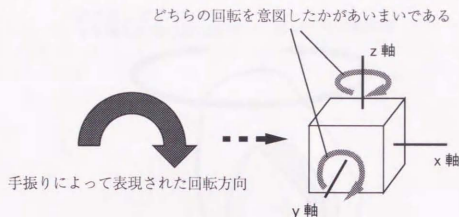


図 4.12: 手振り表現のあいまいさ

- 回転方向の言語による表現として、単に「時計回り」「右へ回す」という表現を利用した場合、どの回転軸に対してそれらの回転を施すのが明確ではないため、被指示者が指示者と異なる認識を持つことがある。
- やはり高さ方向に対して斜めの方向から撮影しているため、手振りを利用している場合でも、回転軸に対する認識が双方で食い違うことがある。すなわち、図 4.12 において、図の右側の様にディスプレイ上に映っている対象物に対して、図の左側に大きな矢印で示されたような回転方向が手振りによって示された場合、対象物の y 軸に関する回転であるのか、z 軸に関する回転であるのかが明確に判断できないことがたびたび起こる。

双方に関連した問題点として、

- 被指示者は基本的には作業空間とそれを撮影するためのテレビ・カメラとの間に位置することになるが、被指示者に作業空間、及び作業状況を見せるためにはカメラと作業空間を結んだ直線上からずれなくてはならない。しかしながら、作業中にカメラの位置を常に意識することは容易ではなく、被指示者がその身体によって、作業空間をカメラから隠すために、指示者が作業空間を見られなくなる場合が度々生じた。また、その問題を多少回避するために、テレビカメラを水平斜め後方に設置すると、その映像が双方にとって、認識しづらくなることがわかった。これに関しては次節で述べる。

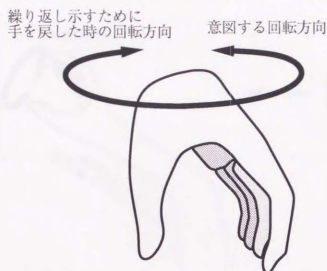


図 4.13: 手振りの繰り返運動

指示者にとって、ディスプレイ画面上での手振りの利用は必ずしも容易ではない。以下に具体例を示す。

繰り返運動 ある回転方向を繰り返手振りで示すために、示そうとする回転方向と、手を戻すための回転方向のどちらが示されているのかが被指示者にとってわかりづらい(図 4.13)。

斜め方向の手振り ディスプレイ画面に対して斜め方向から手があてられた場合には、示された回転方向があいまいとなる(図 4.14)。

4.3.5 モデル作業指示の言語表現に関する考察

位置指定表現に関して、その表現の仕方に着目して分類をおこなうと以下のような表現法が存在することがわかる。

直交座標型 「右から二番目の上から三番目の立方体」というように、縦軸、横軸で表現する方法。

ベクトル型 方向、及び距離を示す方法。「右斜め一つ上」といった表現が利用される。

また、これらと併用される表現法として以下のような分類が可能である。

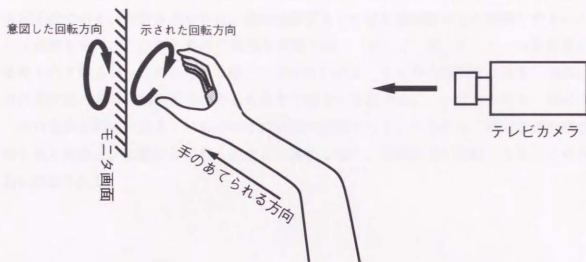


図 4.14: 斜め方向の手振り

範囲限定型 あいまいな表現によって、注目すべき範囲を限定し、さらに名詞等を発話することによって対象物を限定する。例えば、「前の方にある円柱」「真中の列の立方体」といった表現がある。直交座標型、ベクトル型の省略型であるとも考えられる。

絶対座標型 5×5 の作業空間の四角のいずれかを原点として、位置を表現する方法。主に直行座標型と併用される。単に「3 の 2」などと表現されることもあるが、この場合は、作業空間の縦軸と横軸のどちらの座標を先に言われるかがあいまいになることが多く、わかりづらい。

相対座標型 直前に注目していた対象物からの相対位置で表現する。直行座標型でも利用されるが、ベクトル型はほぼ確実に相対座標が利用される。例えば、「そこから1つ右」などと表現される。

作業空間特徴利用型 「隅」「真中」といった、作業空間の特徴を利用した表現。

共有画像情報利用型 遠隔・固定・手振り有りの場合のように同一の画像を共有して見ている場合に利用される表現方法。例えば、「今、手で隠れている立方体」といった表現方法がある。

4.4 撮影角度とコミュニケーションの円滑さ

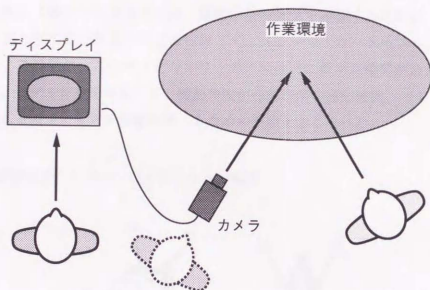


図 4.15: 見る角度の相違による作業空間表現の相違

前節の実験では、テレビ・カメラと作業空間との間に被指示者が立った場合、カメラが作業空間を撮影することが不可能となる。これを防ぐためにはカメラの位置を斜め方向にずらすか、あるいは被指示者が横に移動する必要がある。より一般的な状況における、実画像通信システムの利用を考えた場合、従来のシステムのように、ある場所に固定して設置されている場合、必ずしも被指示者が作業空間に対して向いている方向と、同一の方向から作業空間を撮影可能であるとは限らない。すなわち、従来のシステムでは、被指示者が作業空間を見る方向と、カメラが作業空間を撮影する方向とが食い違うことが多いと考えられる。言い替えば、指示者が見る作業空間と被指示者が見る作業空間とは、異なる方向からその作業空間を眺めることとなり、作業空間に対する双方の認識に差が生じることとなる。例えば指示者にとっては「右側」であっても、被指示者にとっては「左側」であるということは、対面においてもしばしば体験することである。従って、ある空間的な配置や動作を表現し、対話者に伝達する場合には、互いに対話者の認識している作業空間の、視覚的な表現を考慮し、対話者にとって理解し易い表現へ変換する必要があるが生じる。このように、空間に対する個々の認識の相違はコミュニケーションの円滑さを低減させる原因となると考えられる。

図形の傾きに関して有名な研究として、メンタル・ローテーションがあるが、モデル

作業実験においても、同様にメンタル・ローテーションによるコミュニケーションへの障害が考えられる。すなわち、遠隔から送られて来た作業空間の画像が、自分の期待する画像と比較して傾いている場合には、被指示者の作業を確認するために、被指示者側サイトより送られてきた作業空間画像に対して、メンタル・ローテーションをおこなう必要がある。この結果、このメンタル・ローテーションに要する時間が余分に必要となる。そこで、モデル作業空間を利用して、撮影角度が作業空間の認知時間、コミュニケーションに利用される表現に与える影響を調べるための実験をおこなった。

4.4.1 作業空間のメンタル・ローテーション時間

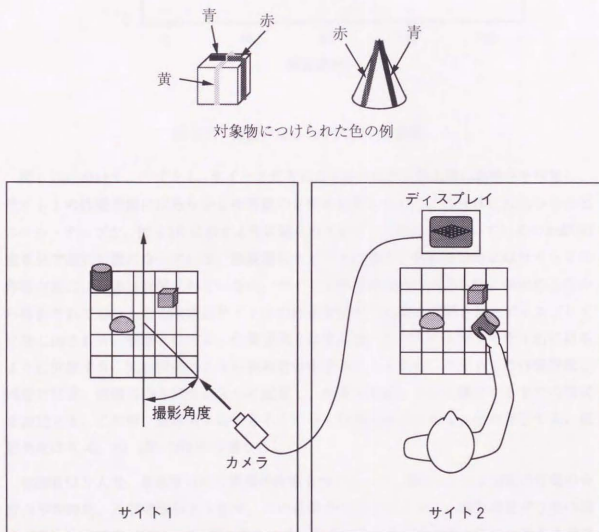


図 4.16: モデル作業空間のメンタル・ローテーション時間の測定

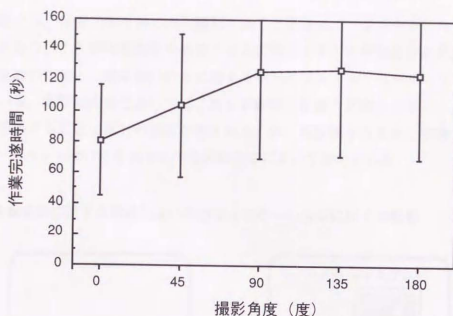


図 4.17: 撮影角度と作業時間との関係

図 4.16において、サイト1、サイト2 双方に5×5のモデル作業用の碁盤目を用意し、サイト1の作業空間にはあらかじめ各種の立体を配置しておく。各立体には色つきのビニール・テープが、図 4.16 に示すように貼られており、どの向きを向いているのが90度単位で識別可能になっている。被験者はサイト2にあり、実験開始時にはサイト2の作業空間には立体は配置されていない。サイト1の作業空間は水平方向に斜めの方から撮影されており、その映像はサイト2の作業空間の正方向に設置されたディスプレイに映し出される。被験者は常に、作業空間をはさんで、このディスプレイを正面に見るように位置する。実験開始とともに被験者は用意された立体を、サイト1の作業空間と同様の位置、同様の向きになるように配置し、作業を開始してから終了するまでの時間を測定する。この時、被験者にはできるだけ早く作業を終了させるように指示する。撮影角度は0、45、90、135、180の5通りとした。

被験者は3人で、各角度毎に5種類の作業をおこなった。図 4.17 に5種類の作業の合計の平均時間、及び標準偏差を示す。この結果から分かるように、撮影角度が0度の場合が最も作業時間が短く、90度の場合に最も長くなり、それ以上は180度に至るまで逆に作業時間が短縮するという結果が得られた。通常、メンタル・ローテーションでの実験では180度の場合に最も認識時間が長くなるが[Tak87]、本実験においては、鏡映像と

なる対象物を用意しなかったために、このような結果になったと考えられる。

この実験から、作業空間を斜めから撮影することによって、メンタル・ローテーションが必要となり、これが作業効率を悪化させる要因となることが確認された。本実験結果には対象物の位置と、対象物の向きに関する両方のメンタル・ローテーション時間が含まれている。実際の作業においては、ある対象物の位置を把握することと、その操作の方向を把握することの双方の要因が含まれるため、両要因が含まれた実験とした。コミュニケーションにおけるそれぞれの要因は次節において検討される。

4.4.2 作業空間に対する視点の違いのコミュニケーションに対する影響

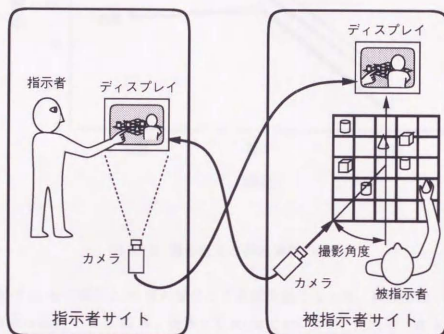


図 4.18: 視線角度の相違のコミュニケーションへの影響

遠隔で手振りを利用する遠隔・固定・手振り有りの様な通信条件においては、手振りを利用しながらコミュニケーションをおこなうため、手振りの無い場合と比較して表現数は大きく減少する。しかしながら、カメラが作業空間を撮影する方向(指示者が作業空間を見る方向)と、被指示者が作業空間を見る方向が異なる場合には、指示者が見る作業空間画像と、被指示者が見る指示画面の双方とも、傾いた作業空間画像が表示されることとなる。このとき、被指示者にとって、手振りによって指示画面上に示された位置や、操作方向は認識が困難となり、そのために、コミュニケーションも困難となると考

えられる。そこで、遠隔・固定・手振り有りにおいて、撮影角度を変化させ、モデル作業実験をおこなった(図 4.18)。この時、被指示者は前述のメンタル・ローテーションの実験の場合と同様に、常に作業空間をはさんでこのディスプレイを正面に見るように位置する。

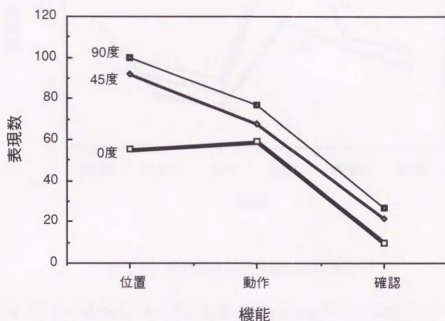


図 4.19: 撮影角度と機能解析の結果

撮影角度は45度の場合と90度の場合とで実験をおこなった。被験者は6組であり、そのうち3組は課題1, 3を45度、課題2を90度でおこない、残りの3組は課題1, 3を90度、課題2を45度でおこなった。実験結果は同一の角度でのデータをまとめたものを利用した。従って、いずれの角度におけるデータも3人分のデータ量となる。0度のデータは遠隔・固定・手振り有りのものを利用した。このときの言語表現の機能解析、品詞解析、及び作業完遂時間と撮影角度との関係を求めた結果を図 4.19、図 4.20及び図 4.21 に示す。本実験では、一組の被験者が、二種類の角度で実験をおこなうという方法をとったため、角度毎の標準偏差を求めることができなかった。機能解析より、どの機能に関しても撮影角度が大きくなるに従って表現数が増加していることがわかる。特に位置指定表現の増加が著しい。また、確認回数も増加しており、角度の相違が不安感(確認の必要性)に影響していることをうかがわせる。品詞解析結果を見ると、代名詞以外は、0度の時と比較していずれも表現数が増加していることがわかる。位置表現の代名

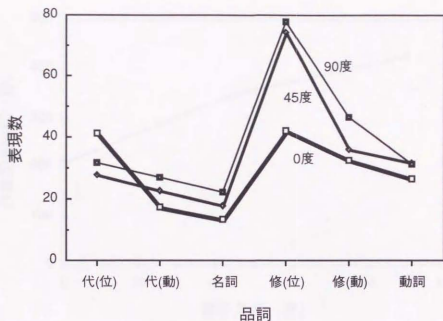


図 4.20: 撮影角度と品詞解析の結果

詞に関しては、0度の場合は、その他の角度の場合と比較して表現数が多かった。代名詞は手振りが有効であるほどその利用数が多くなると考えられるため、撮影角度の増加が手振りの有効性を減少させることがわかる。

コミュニケーションに困難となることを示す具体例として、次のような会話が観察された。

指示者 まずこの円柱を、この方向に、右に180度。この方向。

被指示者 それ左だぞ、俺から見て。

指示者 右に180度。

被指示者 こう？

指示者 逆、逆。

また、「君から見て左」といった表現も観察され、このような場合は、明らかに対話者の知覚する対象を意識することによって、自分を主体とした表現ではなく、対話者の理解しやすい表現を利用していることがわかる。このような、表現の変換の必要性は指示者にとって、負担になると考えられる。

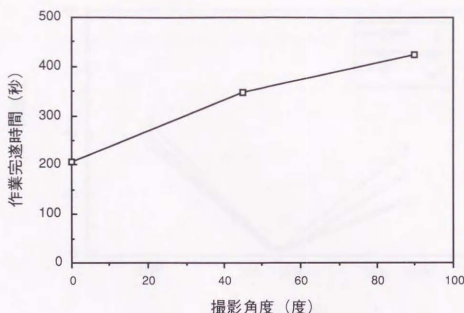


図 4.21: 撮影角度と作業指示時間との関係

図 4.22 に、利用された手振り表現数を、機能別に数えた結果の平均値を示す。図の x 軸で、「(動作)」は「動作・方向表現」を省略したものである。また、図 4.23 に、利用された手振りの形状別に解析した結果の平均値を示す。今回の実験では、撮影角度が増加した場合、手振りの利用数は増加する傾向にあった。記録したビデオから、撮影角度が大きくなると表現が伝達されにくくなるために、手振り表現を繰り返し利用したり、回転軸の表現の利用等が多くなっていることが観察された。撮影角度が大きい場合には、被指示者に伝達される指示画像も、被指示者が実際に見ている作業空間に対して傾いているため、手振り表現を理解するためにメンタル・ローテーションが必要となる。従って、手振り表現が伝達されにくくなると考えられる。

対面によるモデル作業指示においては、両者がほぼ同一の方向を向くことによって、このような表現の相違を減少させることが可能である。また、手振りを利用した場合には、同一の方向を向かない場合であっても、動作の誤認をすることはない。すなわち、手振りによって示された位置、方向は、その見る角度によって、自然に適当な位置、方向へ変換されるために、言語的には「これ」「この方向」という表現のみを利用すれば良いことになる。実画像通信を利用した場合の、遠隔・固定・手振り有りによる手振りの利用方法では、この自然な表現変換がなされないため、手振りの利用を妨げていると

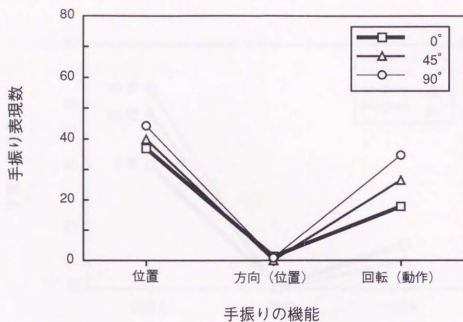


図 4.22: 撮影角度と手振りの機能解析との関係

いうこともできる。従って、何らかの手法によって、この自然な表現変換が支援されない限り、指示者、被指示者双方の視線方向を一致させることが必要である。

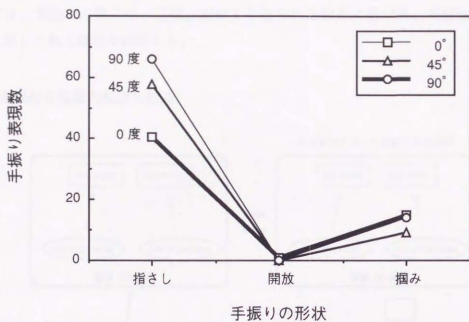


図 4.23: 撮影角度と手振りの形状別利用数との関係

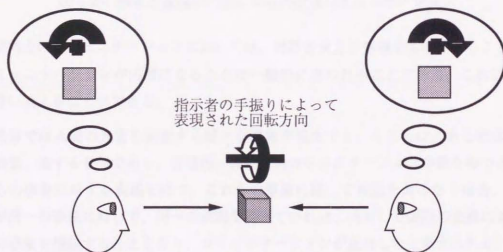


図 4.24: 対面時の自然な表現変換

4.5 実画像通信システムに必要とされる機能

本節では、本論文の第二章、三章、四章より得られた知見に基づき、実画像通信システムに必要とされる機能を列挙する。

4.5.1 主観的な表現の相違の低減

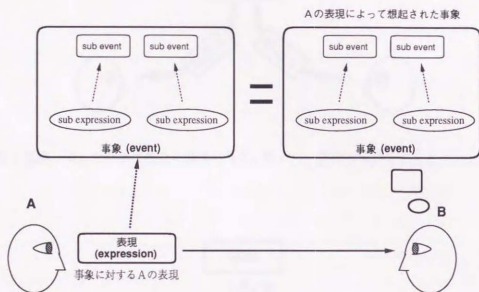
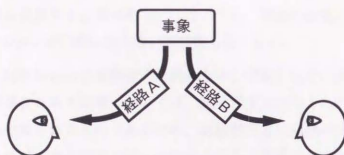


図 4.25: 事象と表現の一致による円滑なコミュニケーション

人間同士のコミュニケーションにおいては、対話者双方に情報を共有させることによってコミュニケーションが円滑になることは一般的に言われることである。これは次のように言い換えることができる。

自然界では人間の五官を刺激する様々な事象が発生する。それらは、ある物体の持っ色、触覚、発する音等である。言語的、非言語的コミュニケーション手段を持つ人間は、これらの事象に対する表現を持つ。これらの事象に関して対話をおこなう場合、対話者双方が同一の事象に対して、同一の表現を持っていれば、共有した表現の交換によって、同様の事象を想起することとなり、コミュニケーションが成功したと考えられる。逆に、例えば「時計回り」という表現に対して、両者が異なる回転軸を想起した場合にはコミュニケーションは不成功であることとなる。通常、ある表現は一連の複数の事象をまとめて表現することが多く、表現と事象の双方を対話者が共有しない場合には、異なる表現

を利用するか、事象をより細かいレベルへと分解し、事象と表現が一致する様な複数の表現を利用して、伝達することが必要となる [Miy85]。従って、コミュニケーションが円滑であるためには、対話者双方が事象とその表現の双方を共有していることが必要である。



異なる経路を通した事象は異なる認識を与え、従って、異なる表現を生じさせる。



共通の経路を通した事象は共通の認識を与え、従って、共通の表現を生じさせる。このとき、情報は厳密に共有されている。

図 4.26: 知覚経路の共有

ここで、ある同一の事象が対話者双方に知覚され、その事象に関して対話をする事を考える。例えば、二者が対面して存在する場所において、ある事象が発生すれば、その事象は双方によって知覚されることとなる。このとき、ある程度この事象は対話者に共有されるが、厳密に共有されることは不可能である。なぜならば、対面して存在している場合、対話者双方がその事象を同一の方向から同時に見、聞き、触ることは物理的に不可能だからである。すなわち、事象を知覚する経路が異なるため、両者の知覚する

事象はお互いに異なるものとなり、必然的にその事象に対する表現も異なる可能性が大きくなる。ここで、個々人が知覚した事象に対する個人的な表現を「主観的な表現」と呼ぶこととする。すなわち、知覚する事象が対話者間で異なる場合には、主観的な表現も異なる可能性が高くなる。相違が生じた場合には対話者の表現を、対話者の知覚経路を考慮して、自分の表現に変換するか、自分が表現する場合に対話者の経路を考慮して、それに適した表現に変換する必要がある。このように、事象の知覚経路が異なる場合には、コミュニケーションが円滑にならない可能性も高くなる。

以上のように、対面においては物理的な制約から、事象を完全に共有することは困難であるが、臨場感通信システム等においては、対話者双方に与えられる知覚はシステムによって人工的に生成されるものであるため、対話者双方に同様の知覚を与えることができる。言い換えれば、ある事象を同一の経路を通して伝達することによって同様の知覚を与え、事象をより厳密に共有させることが可能となる。従って、円滑なコミュニケーションの支援を考えた時、通信システムには、可能な限り事象に対する知覚を共有させることによって、対話者相互間の主観的な表現の相違を減少させる機能が必要である。当然、個人差によって、同様の刺激に対して全く同一の知覚、及びその表現を持つことは不可能であるが、その相違の程度を減少させることは可能である(図4.26)。

本研究においては、通信システムの感覚チャネルを視覚に限定しており、以降の小節で、視覚的なコミュニケーションを支援するためにシステムの必要とする機能を、より具体的に論じる。

4.5.2 視点の共有

MC操作指示におけるコミュニケーションの解析結果から分かるように、機械を対象としたコミュニケーションでは、常に工具、ボタン等の対象物画像を確実に共有している。従って、少なくとも、同一の対象物を見ることができるという意味での実画像の共有が必要である。これは機械が設置してある環境や、機械の複雑な構造を考慮する時、決して容易なことではない。すなわち、従来の固定的な実画像通信システムでは、必要とする対象物の存在する位置によっては、テレビ・カメラによって、その映像を撮影しづらい場所も存在する。本章、4.4節において、指示者と被指示者の視線方向の相違がコミュニケーションの円滑さを低下させる要因となっていることが明らかになった。すなわち、被指示者にとって指示者の手振りが理解しづらくなり、言語による表現が多くなり、手振りや言語表現の誤認が発生することになる。すなわち、視線方向の差異

が主観的な表現の相違を生じさせ、これがコミュニケーションの障害となっている。このような問題を解決するためには、指示者は被指示者の視線と可能な限り同一の方向から撮影された実画像を利用できる必要がある。これによって、指示者と被指示者は同一の対象物を同一の方向から見る事が可能となり、両者の主観的な表現が一致し、コミュニケーションはより円滑になると考えられる。

上述の通り、円滑なコミュニケーションのためには、単に同一の対象物画像を見ることだけではなく、視線方向までも共有することが必要である。視点は「どこから見るか」と、「どこを見るか」という両方の意味を持ち合わせており、上記の二種類の共有を満たす言葉である。従って、本論文では、「視点の共有がコミュニケーションに有効である」と表現する。

4.5.3 視点の位置的な可変性

産業界での利用、あるいは機械を対象としたコミュニケーションを考える場合、視点の位置的な可変性は重要な要素となる。例えば、変電所施設の巡視作業への利用を考えることにする。変電所内部は非常に広い範囲に渡って様々な種類の機器が設置されており、しかもそれらが密集して設置されているため、人間以外の大きな機器は搬入しづらくなっている。しかしながら、必要とするあらゆる場所に存在する対象物の画像を、被指示者と同様の視点から見するためには、非常に多数のカメラを施設内部のあらゆる場所に設置し、常にカメラを切替えるか、あるいは非常にポータブルな撮影機器を利用して人間とともに運びながらコミュニケーションをおこなう必要がある。

より、細かい視点の動きを考えると、図 3.32 で示したように、ある一つの機械を対象としてコミュニケーションをおこなっている場合であっても、頻繁に視点を変更可能である必要があることがわかる。従って、人間を主体としたコミュニケーションを考えた場合、人間が対面で視点を変更する程度の容易さで、人間の意思に基づいて自由に視点を変更可能であることが望ましい。

これらの考察から、実画像通信システムが撮影する実画像は、人間がその意思によって視点変更をおこなうのと同様の速さで、人間がその意思によって、肉眼で選択する視野と同様の画像を撮影することが可能であるような位置的な可変性が必要であることがわかった。これは、不確定な対象物の位置に対して柔軟に対応するための機能であり、コミュニケーションに対するインフォーマルなアプローチであるということが出来る。

4.5.4 共有作業空間の位置的な可変性

モダル作業実験より、指示者の手振りが利用可能であることがコミュニケーションの効率向上に非常に有効であることが明らかになった。このように、双方が共有し、互いにインタラクションが可能であるような仮想的な空間を共有作業空間と呼ぶこととする[TM90]。すなわち、共有作業空間を持つことがコミュニケーションに対して有効であるが、視点の位置的な可変性が望まれていることを考えた場合、視点のみならず、共有作業空間の位置的な可変性も必要である。

4.5.5 可確認性

第二章における考察より、指示者は被指示者の顔を見ることにより、その視点、理解度を確認し、被指示者の実際の操作を見ることによって、その行動を確認する必要がある。これが困難である場合には、言葉によって頻繁に確認をとる必要が生じることになり、コミュニケーションの円滑さを阻害する一要因となる。従って、指示者にとって確認のために必要な情報として、被指示者の顔画像、被指示者の視線を示す情報、そして、被指示者の作業の様子をリアルタイムに撮影した画像を挙げる。被指示者の作業画像は、前述の考察より、メンタルローテーションの必要のない、被指示者の視線と同一方向の画像であることが望ましい。被指示者の顔画像に関しては、見えることが望ましいが、本研究では作業対象画像を撮影することに重点をおいているため、今回は扱わないこととする。

4.5.6 あいまい性の少ない表現

前節の実験より、遠隔・固定・手振り有りの条件を利用した場合でも、手振り表現のあいまいさが原因となって、被指示者が誤った認識をおこなうことを述べた。また、「右向きに回す」といった言語的な表現もあいまいであることも同様である。すなわち両表現とも、どの座標軸を中心にして回転させるのかが理解しづらいという欠点を持つ。これは操作指示をおこなうための画面が水平方向、鉛直方向ともに斜め方向から撮影されていることにも起因する。何故ならば、手振りはディスプレイ画面を基準とした座標軸回りに表現されることが多いために、実際の作業環境の座標軸とずれることが多く、従って指示者の意図する回転方向と、その表現から被指示者が想起する回転方向が食い違うことになる。本研究においては、視覚的な感覚チャネルの利用に焦点を絞っている

ため、この問題点の解決のためには、よりあいまい性の少ない、視覚的な表現を利用することが望まれる。

この目的のために、第三章、3.3.1 節において利用した、動作指示カーソルを利用することが有効であると考えられる。ただし、ここで注意を要するのは、被指示者に提示される指示画面内の作業空間が、実際の作業空間を見る視線の角度と異なる角度から撮影された画面である場合、動作指示カーソルで指定された回転方向が非常に認識しづらくなることである。従って、動作指示カーソルの利用のためにも、指示画面内の作業空間、すなわち、指示者と被指示者の作業空間に対するそれぞれの視線の角度が一致している必要がある。

このようなアプローチは、ある限定されたコミュニケーション手段を利用しようとするものであり、フォーマルなアプローチであるといえることができる。

4.6 本章のまとめ

モデル作業実験の結果に基づいた考察より、従来の実画像通信システムの問題点として、以下の項目を挙げる。

- 三次元的な位置、動作を言語のみで表現することは、手振りのようなシンボル化された表現と比較して情報伝達効率が悪く、手振り、あるいはそれに代わるシンボル化された表現が有効である。
- 手振りを利用した場合でも、それがモニタ画面上で利用される場合にはあいまい性がある。
- 言語表現も、手振りによる表現も共に対話者間の視線方向の相違の影響を受ける。

これらの結果を総合して考えると、人間は各種の感覚器官を利用してその個人の認知した環境に対して、個々に主観的な表現を持つ。たとえ同一の環境内に二者が対面して存在した場合でも、感覚器官への刺激は同一のものではない。この刺激の差によって生じた認知の差を解消するために、人間は対話者の認知経路を想像することによって、表現の相互変換をおこない、コミュニケーションをおこなう必要が生じる。すなわち、認知の差が大きくなるほどコミュニケーションは困難になる。従って、複数感覚チャネルを利用したコミュニケーション・システムに必要な要件の一つとして、主観的な表現の相互変換を可能なかぎり減少させる機能を持つことが挙げられる。

二章、三章、四章での実験、考察に基づき、実画像通信システムに必要な機能として、以下の項目を挙げる。

- 可能なかぎり同一の角度から同一の画像を見る、すなわち視点を共有することによる、実画像の厳密な共有性。
- 人間の意思に基づいた視点の位置的な可変性。
- 対話者の共有作業空間の位置的な可変性。
- 被指示者の理解度、視線、及び作業状況の可確認性。
- あいまい性の少ない、既に共有された知識を利用した、シンボル化された表現の利用。

