

運転員間のプラント知識共有形態の研究

平成9年4月

東京大学大学院
システム量子工学研究科
動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear
Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku,
Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団

(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1995

運転員のプラント知識共有形態の研究

内川 貴幸¹⁾、吉川信治²⁾、小澤 健二³⁾、古田一雄⁴⁾

要旨

集団問題解決においては、集団の成員が所有する認知資源をいかに統合し、協調的に働く一つの認知システムを構築するかが、円滑なる集団行動を実現するための鍵となる。この統合を達成するための最も重要な手段が、発話によるコミュニケーションである。そこで、発話の認知システム統合に果たす本質的役割に着目し、発話生成の意図・目的を発話の原形として分類する手法を提案した。

つぎに提案した発話分析の有効性を確かめるために、温水供給プラントDURESSを用いた2人チームによる簡単な認知実験を行った。実験の結果、集団作業成績と知識モデル共有、知識モデル操作のために行われた発話割合との間に関係が見られ、原形による分類法が集団過程の機構に接近する上で有用な情報をもたらしうることが示唆された。

また、発話の表現型、原形分類に基づくコミュニケーション・モデルを、運転員認知行動シミュレーション・システム(OCCS)に組み込んで、同じくDURESSの運転を課題とした計算機シミュレーションを実施した。その結果、知識の所有形態とコミュニケーション戦略が作業効率に与える影響を示すことができ、集団過程の機構を解明する手段として役立つことを確認した。

1)東京大学工学系研究科システム量子工学専攻(現在、⑭東芝)

2)動燃大洗工学センター基盤技術開発部先進技術開発室

3)動燃大洗工学センター基盤技術開発部先進技術開発室(現在敦賀事務所)

4)東京大学工学系研究科システム量子工学専攻

Form of Plant Knowledge Sharing of Plant Operators

Takayuki Uchikawa¹⁾, Shinji Yoshikawa²⁾, Kenji Ozawa³⁾, Kazuo Furuta⁴⁾

Abstract

When a team solves problems, integration of cognitive resources and formation of cooperatively unified cognitive system are crucial to achieve harmonious team behaviors. The most important mean of this integration and unification is verbal communications. The authors then considered the essential roles of verbal communications in cognitive unifying, and proposed a classification method to categorize intentions and purposes of protocol generations as the original models of protocols.

The effectiveness of the proposed method has been verified by a series of simple experiment by two-man subjects and a simulated hot water supply system DURESS. The experimental results showed a correlation between the team task achievement rates and the protocol utterance frequencies specified for knowledge sharing and operation. This suggests that the proposed method provides useful information to approach the main mechanisms of team cognitive processes.

Operation problem of a simulated hot water supply system DURESS was also given to a computer operator cognition model OCCS, which is equipped with a communication model based on the proposed protocol classification method. The result explained the influence of knowledge sharing and communication strategy upon task achievement rates, to be proven as a useful tool to investigate the main mechanisms of team cognitive processes.

-
- 1)Quantum System Engineering Faculty, Graduate School, University of Tokyo
(Toshiba Corporation, at present)
 - 2)Frontier Technology Development Section, Advanced Technology Division, PNC-OEC
 - 3)Frontier Technology Development Section, Advanced Technology Division, PNC-OEC
(Tsuruga Office, at present)
 - 4)Dept. of Quantum Engineering & System Science, Graduate School, University of Tokyo

目 次

1	研究の概要	1
1.1	目的	1
1.2	実施内容	1
1.3	実施計画	2
1.4	実施体制	2
2	集団問題解決とコミュニケーションモデル	3
2.1	知識モデル	3
2.2	集団問題解決とコミュニケーション	4
2.3	発話の表現型	5
2.4	発話の原型	6
2.5	コミュニケーションのモデル	11
3	認知実験	12
3.1	概要	12
3.2	被験者への教示	13
3.3	実験の手順と課題	16
3.4	実験結果	17
3.4.1	作業成績	17
3.4.2	発話分析	18
3.5	まとめ	21
4	シミュレーション	23
4.1	概要	23
4.2	シミュレーションシステム	23
4.3	コミュニケーションルール	25
4.4	シミュレーション条件	28
4.5	シミュレーション結果	29
4.6	まとめ	30
5	結論	31
	参考文献	32

1 研究の概要

1.1 目的

集団問題解決においては、集団成員が有する知識モデルが共有資源として統合され、個々の成員が持つ知識モデルの欠陥が補完される形で問題解決が行われると考えられる。この過程で集団内コミュニケーションが行われ、知識モデルの一部が外部から観測可能な形で現れる。そこで、知識モデルの所有状態と、これを用いて問題解決を行う際に必要となるコミュニケーションとの関係を解明することによって、集団問題解決の機序の解明とともに、実験等による知識モデル同定手法の開発に資する知見を得る。

1.2 実施内容

本研究では、まず集団内コミュニケーションの認知モデルを構築し、このモデルに基いて発話の分析法を提案する。そして実験と計算機シミュレーションにより、提案した発話分析法と認知モデルの検証を行う。

(1) 認知実験

簡単なプラントシミュレータを集団で操作する課題を被験者に課し、被験者の発話を記録・分析する。そして発話分析の結果が、集団作業成績などの集団行動の予測に役立つか否かを調べる。

(1) シミュレーション

古濱らによって提案された2層の知識モデル表現に基づいて問題解決を行う集団認知行動シミュレータを作成し、簡単なプラント操作を例題にシミュレーションを行う。知識モデルの所有状態とコミュニケーション形態を様々に変え、成功に至るための両者の関係を調べる。

1.3 実施計画

項目	平成8年 10月～12月	平成9年 1月～3月
発話モデルの構築	---	
認知実験	---	---
シミュレーション	---	---
報告書の作成		---

1.4 実施体制

東京大学 工学系研究科システム量子工学専攻 近藤研究室

古田一雄

内川貴幸

増井淳之

2 集団問題解決とコミュニケーションモデル

2.1 知識モデル

高度の自動化が導入されつつある現在の原子力プラントにおいては、運転員に期待される役割があらかじめ定められた運転手順を遂行することから、想定外の状況に適切に対応できる柔軟な問題解決者へと移りつつある。このような想定外事象対応は Rasmussen の SRK モデルでいう知識ベース行動により行われると考えられるが、知識ベース行動では状況認識、目標の同定、行動計画の作成が意識下において行われ、この過程で対象システムの心的表象が参照されることを特徴としている。[1]したがって人間の知的活動支援を考えるにあたっては、まずどのような心的表象、すなわち知識モデルの習得が能力向上に寄与するのかを明かにし、適切な知識モデル表現を採用することが必要である。

昨年度の研究において、我々はこのような目的に適した知識モデル表現として、図 2.1 に示すような 2 層構造の運転員知識モデルを提案した。[2]

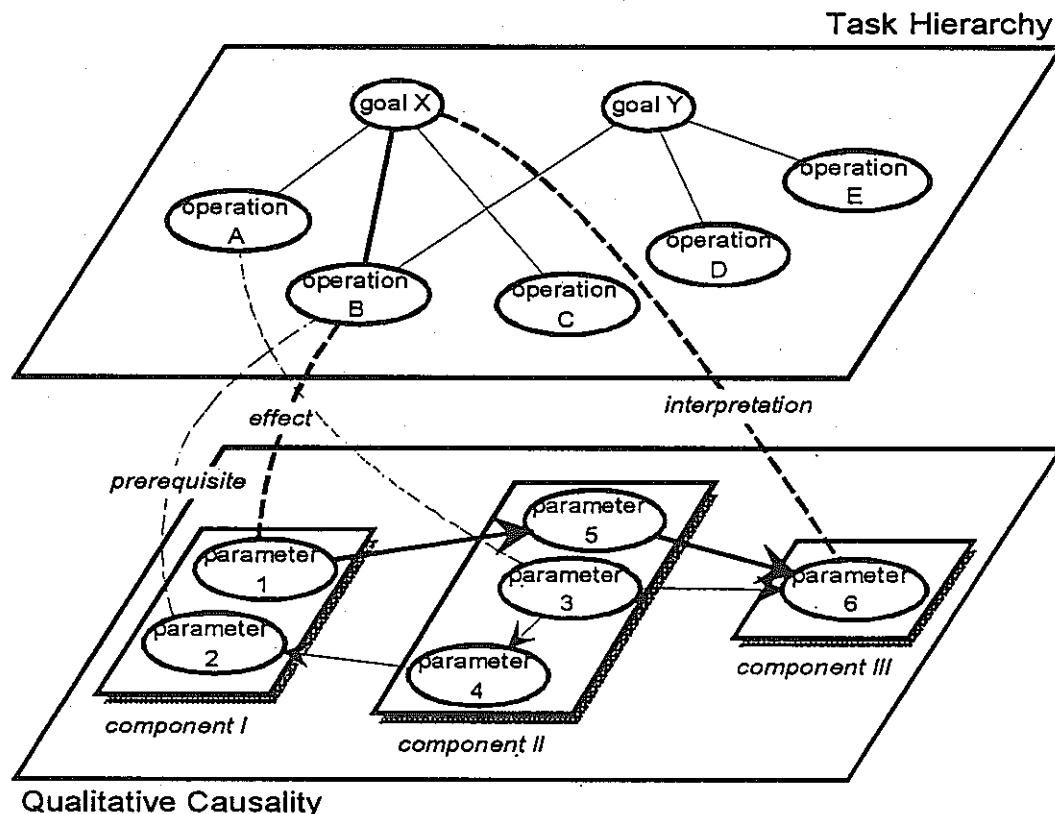


図 2.1 運転員の知識モデル表現

このモデルは大きくタスク階層 (TH) と定性因果 (QC) の2つの層と、それらの間を結ぶ関係から構成されている。このうち TH 層はプラントの操作に関する知識を表すもので、操作の目標、副目標、具体的な操作をノードとし、それらの間の手段目標関係をリンクとするグラフ構造で表現されている。一方、QC 層はプラントの振舞いに関する知識を、プラント・パラメータ間の定性的因果関係によって表すものである。さらに、TH 層と QC 層は3種類のリンクによって関係づけられている。すなわち、解釈リンクは QC 層上のパラメータとそのある状態が意味する TH 層上の操作目的を、効果リンクは TH 層上の操作とその操作によって影響を受ける QC 層上のパラメータを、前提条件リンクは QC 層上のあるパラメータと TH 層上のある操作を実行する前に満たさなければならぬ条件との対応を関係づけている。

このような2層構造表現の意味するところは2通りである。まず第一に、TH 層上で表された手段目標関係が、QC 層上における因果関係の経路をたどることによって裏付けられているということである。これにより、表層的な操作手順の「深い理解」を表現することが可能になる。第二に、TH 層上で陽に表されていない操作手順であっても、QC 層上の因果関係を探索することによって導出できるということである。以上の2点から、この知識モデル表現が知識ベース行動に関する運転員の知識表現として適していると期待される。

昨年度の研究において、この知識モデル表現がプラント操作の経験により自発的に獲得される知識を十分表現し得ること（十分性の検証）、およびこの知識モデル表現で教示を受けた被験者の未知事象に対する操作手順発見能力が向上すること（適切性の検証）を実験的に確認した。

2.2 集団問題解決とコミュニケーション

従来の認知工学研究の多くは個人の認知過程を扱ってきたが、原子力プラントの運転管理は、個人ではなく集団による協調作業によって行われている。集団行動では、個人行動には見られない複雑な相互作用があり、集団行動を集団成員の個々の行動の単なる総和でとらえることはできない。特に知識ベースの集団問題解決においては、先に述べたような知識モデルが集団成員間に分配されており、これを利用することによって個人では不可能であるような問題解決能力を発揮することができる。すなわち、たとえ集団のある成員が自分のタスク達成にとって不可欠な知識を欠いていたとしても、他の成員がその欠陥を補うことができれば問題解決は可能であり、よく「3人寄れば文殊の知恵」と言われる。

しかし集団の知識資源が常に円滑に利用される保証はなく、「文殊の知恵」を実現するためには知識モデルを統合し、共用するための適切な協調を行うことが前提条件となる。協調がうまく行われない場合には集団が所有する認知資源が有効に利用されず、期待を裏切るような作業成績しか得られることになる。「船頭多くして云々」というの

はこのような状況を表している。

集団の協調を考える上で最も重要な因子は、集団内コミュニケーションである。コミュニケーションは、情報や知識そのものの伝達手段であるばかりでなく、伝達すべき情報や知識が何かを同定すること、複数の成員の認知システムで構成される複合認知システムの制御、行動の同期など、集団内で起る様々な協調を実現するための手段となっている。コミュニケーションそのものにも様々な具体的な手段が考えられるが、特に重要なのは言語によって行われる発話である。したがって、想定外事象に対する集団問題解決行動の機序を解明するためには、集団が行う発話の分析と、発話の妥当な認知的モデルの構築が不可欠である。

2.3 発話の表現型

発話に限らず全ての分析の第一歩は、分析対象がある基準によって分類することから始める。たとえばヒューマンエラーの分析においては、影響の重篤度、オミッショング／コミッショングに代表される表面的な形態、スリップ／ラップス／ミステイクなどの認知的な発生機構、根本的発生原因などの観点からエラーを分類することが行われている。しかしエラーの包括的な分類法は知られておらず、エラー分析には若干の混乱が見られる。これに対して Hollnagel は、外部からの観察によって比較的客観的に判別可能な表面的形態による分類を表現型 (phenotype) と呼び、推測や憶測によってしか判別できない発生機構や原因による分類を原型 (genotype) と呼んで、両者を峻別して使うことが重要であると指摘している。[3]

これと同様なことは発話にもあてはまる。発話はまずその観察可能な表面的形態によって表現型が分類できる。発話分析として従来提案してきた分類の多くは、この表現型によるものであった。たとえば佐相らによって提案された集団行動の解析的記述手法の TADEMにおいては、発話を次のようなカテゴリに分類する。[4]

- A 情報提供 (ANOUNCE)
- AC 現状 (CURRENT)
- AA 予想 (ANTICIPATION)
- I 情報要求 (INQUIRY)
- IC 現状 (CURRENT)
- IA 予想 (ANTICIPATION)
- Y 同意 (YES)
- YC 現状 (CURRENT)
- YA 予想 (ANTICIPATION)
- N 否定 (NO)
- NC 現状 (CURRENT)

- NA 予想 (ANTICIPATION)
- O 提案 (OFFER)
- S 独り言 (SELF)
- E 人間関係円滑化 (ENLIVEN)
- M 指示 (MANDATE)
- P 指示要求 (PROPOSE)

また、吉川らは発話を動詞部（文型）によって

- (1) 叙述
- (2) 叙述で回答される質問
- (3) 肯定／否定で回答される質問
- (4) 提案
- (5) 推定・予測
- (6) 依頼

の6種類に分類し、さらに目的語部の内容（話題）によって

- (1) プラント状態
- (2) 状態変化（過去）
- (3) 状態変化（現在 + 未来）
- (4) 因果関係
- (5) 操作
- (6) 観測性
- (7) 状態・操作の評価

の7種類に分類する方法を提案している。[5]

これらの分類は発話の文型や内容を見れば比較的客観的に判別できるものであり、分析者の専門的判断の入る予知はあまりない。表現型による分類は、それだけでは集団過程の機序を明確にするものではないが、さらに詳細な分析に進む上で出発点を与えるものであり、発話分析においてはまず表現型による分類が不可欠である。

2.4 発話の原型

表現型に対して発話の原型とは、発話の意図や目的など、発話の内的発現動機を表し、分析者の推測や推論によってしか判別不可能な発話のタイプである。発話分析、特に原型の分類は、人間の認知過程の機序を知る上で重要な手段であり、これまでにも様々な

認知工学の研究で用いられてきた。しかし既に紹介したような表現型による分類法に比べて、原型による分類法が包括的に議論されたことは少なく、研究者によってかなりアドホックな分類が行われてきた。そこで本研究では、まず集団による協調的問題解決の機序、特に知識モデルの効果的共用を解明するという目的にかなう発話の原型分類を提案する。

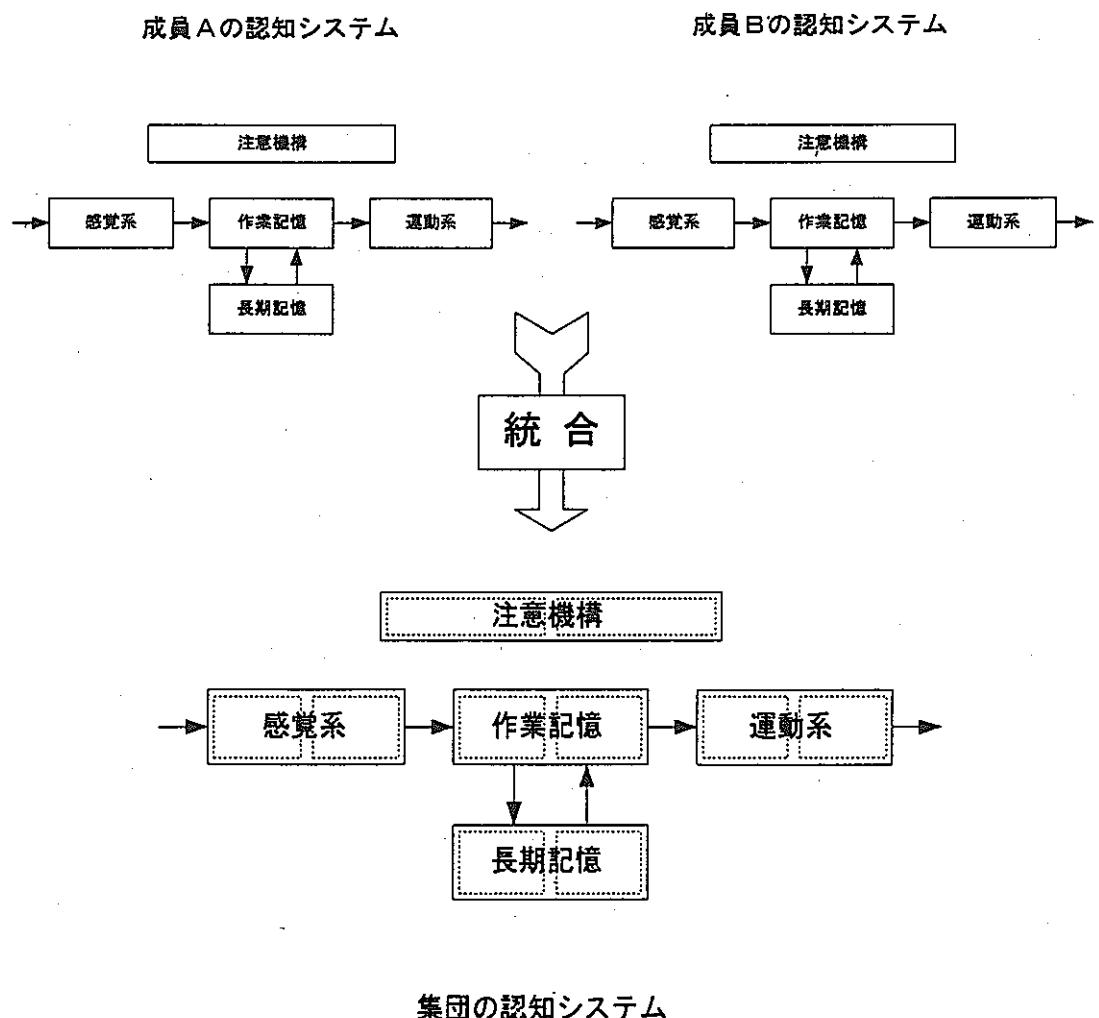


図 2.2 集団問題解決における認知システムの統合

集団が協調して問題解決にあたる際に重要なことは、集団が有する認知資源、すなわち成員の認知システムをいかに巨大な一つの認知システムであるかのように統合することである。図 2.2 は、このような集団における認知システムの統合を概念的に表したものである。人の認知システムにはさまざまなモデルが提唱されているが、最も基本的なモデルは、感覚系、作業記憶、長期記憶、運動系と、これら全体を制御す

る注意機構の5つのサブシステムから成るものである。集団問題解決においては成員の個々の認知モジュールが、集団の認知システムとして有効に働くような統合を行わなければならず、その際にコミュニケーションが主要な役割を演ずる。

そこで、発話の原型をこのような集団協調に果たす本質的役割、すなわち協調機能によって分類することにする。したがって協調機能は、感覚系、作業記憶、長期記憶、運動系、注意機構の5つのサブシステムのうちどの機能統合に寄与するかによって大まかに分類でき、さらに各々のサブシステムのどの機能を統合することに寄与するかによって細分類できる。ただし、知識の共用として見た場合の作業記憶と長期記憶の機能的境界は明確でないため、両者に関しては同一の大分類に含めるものとする。

以上の考察により、発話の協調機能に基く原型分類は以下のようになる。また、原型には以下の分類の各々に対して要求、応答の2つのモードがある。

(1) 情報共有

集団が成員の感覚器官を活用して得られる情報の共有を行うために必要な発話である。共有される情報の種類によって細分する。

(1-1) 1次情報

個人による情報処理を比較的受けていない、単一パラメータ値を共有するための発話であり、さらに内容によって次の2種類に分類する。

(1-1-1) 定量値

(1-1-2) 定性値

(1-2) 高次情報

複数のパラメータ値より導出される情報の共有に関するものであり、内容によって次の3種類がある。

(1-2-1) 変化

(1-2-2) 比較

(1-2-3) 収支・保存

(2) 知識モデル共有

知識モデルの集団内共有のための発話であり、問題解決の最も核心部をなす認知システムの機能に關っている。

(2-1) 知識モデル同定

他人の所有する知識モデルを同定し、利用範囲を決定するための発話である。

(2-1-1) 同義性確立

他人との概念の同一性を確立する。わかりやすくいえば、使っている言葉の意味が同一であることを保証するために行われる発話である。

(2-1-2) 能力確認

他人が所有する知識モデルの範囲を確認する。すなわち、他人がどこまで知っている

るかを見極めるために行う発話である。

(2-2) 知識単位伝達

知識モデルの所有者から利用者へと知識単位を伝達し、知識を共有するための発話である。従来の分析では情報共有と一緒に情報伝達としてとらえられることが多かったが、この原型分類では感覚系を通して得られた情報の共有と、長期記憶に格納されていた知識の共有を区別する。さらに知識の内容によって以下のように細分することができるが、これはすでに説明した2層構造知識モデルに準拠し、欠けている状態認識の部分を補ったものであるが、必ずしも完全なものではない。

(2-2-1) 手段目標関係

(2-2-2) 因果関係

(2-2-3) 仮説徴候関係

(2-2-4) 装置トポロジー

(2-2-5) 解釈（リンク）

(2-2-6) 効果（リンク）

(2-2-7) 前提条件（リンク）

(2-3) 知識モデル操作

知識モデル所有者に自身の知識を用いて推論を実行してもらい、その結果を共有するための発話である。実効的に推論に用いた知識のセットを共有していることになるが、知識そのものではなく操作結果のみ求めていることが(2-2)と異なる。操作の種類によって、さらに次のように細分できる。

(2-3-1) 仮説導出

仮説徴候関係を用いて仮説徴候パターンと観察との類似性照合により、事象の仮説を導出する。

(2-3-2) 仮説検証

仮説の確信が得られていない場合に、仮説を強化・棄却する徴候を特定して観察により検証する。

(2-3-3) 現象理解

QC層上の知識を用いて観察事象に説明をつけ、外界で起きている現象を理解する。

(2-3-4) 操作手順導出

TH層あるいはQC層の知識を用いて、行動計画を行う。

(2-4) 競合解消

目標が衝突した場合の交渉・妥協を図るための発話である。

(2-4-1) 競合の検知

複数の成員が達成しようとしている目標間に、競合が存在することを認識する。

(2-4-2) 制約認識

競合に関係する制約を相互に認識する。すなわち、なぜ目標が競合しているのかを

つきとめる。

(2-4-3) 制約評価

制約の重要度や優先順位を評価し、妥協を行って競合を解消する。

(3) 操作の実行

計画された操作を協調的に実行するため、すなわち集団が成員の身体を効果的に動員して、一貫した操作を実現するために必要とする発話である。

(3-1) 作業制約・作業負荷の評価

操作の実行者を決定するために、各成員の誰が実行可能かを評価する。作業制約は作業場所への接近性などの物理的条件であり、作業負荷は作業を行う時間的余裕と見てよい。

(3-2) 操作実行

操作の実行者を決定し、実行する。

(3-3) 同期

同時に、あるいは時間的にある条件を満たしつつ複数の操作が複数の成員により行われなければならない場合、操作の同期をとる。

(4) 注意制御

集団として注意の強度と方向を制御する。

(4-1) 注意の喚起

一般的な注意レベルの高揚を促す。

(4-2) 焦点の特定

どこに注意の焦点を定めるべきか指定する。

(4-2-1) 監視対象

(4-2-2) 知識モデルの領域

知識モデルのどの部分を使用するか、長期記憶からの想起範囲を限定する。

(5) 情況共有

人間行動は認知システムの閉じた世界で起るのでなく、情況に依存して行動が決定される。従って、認知システムの機能統合に加えて作業全体に影響を及ぼす情況因子の共通認識を得るために発話が必要である。情況を規定する因子として、Hollnagel は共通行動モード (CPM) の概念を提案している。本分類はこのような情況規定因子によって細分できるが、本研究では情況共有機能の詳細は扱わず、以下のように暫定的分類にとどめておく。

(5-1) 時間的余裕

(5-2) 同時目標数、支援の有無などその他の CPM

(6) 動機の確立・維持

不安や恐怖の緩和、結束ややる気の維持など、情緒的、社会的侧面に関する協調機能。

2.5 コミュニケーションのモデル

一つの発話はある一つの表現型に分類されるが、それが担う協調機能は一つであるとは限らず、複数であることもある。たとえば、「B系隔離」というタスクが複数の操作からなる場合に、「B系隔離して」という発話は表現型では「叙述一操作」に分類されるが、「領域限定（要求）」「操作手順導出（要求）」「操作実行（要求）」の3つの協調機能を合わせ持つ発話になっている。さらに情況によっては、この発話が集団の全員に「注意の喚起」を要求していることもある。異常なパラメータの読み上げのように、一つの発話がある機能（情報共有）では応答、別の機能（注意の喚起）では要求のモードになることもあり、各協調機能とモードごとに特定あるいは不特定の聞き手が想定されている。

話し手はある発話の意図（原型）を情況に応じてある会話文（表現型）に表現する。これを聞いた聞き手は、話し手の意図を情況に応じて復元し、自身の次の行動意図を形成する。したがって、ある表現型がどの原型に対応するかという関係は、コミュニケーションを成立させるための重要な因子である。このような関係は自明の場合もあるが、多くの場合には曖昧さを含んでおり、この曖昧さは領域の常識、過去の履歴、その場の状況などの情況を考慮することで解消される。以上の過程を図2.3に示す。発話によるコミュニケーションは、このような過程が繰返されることによって集団成員の間で意図や意思が交換される過程と考えることができる。

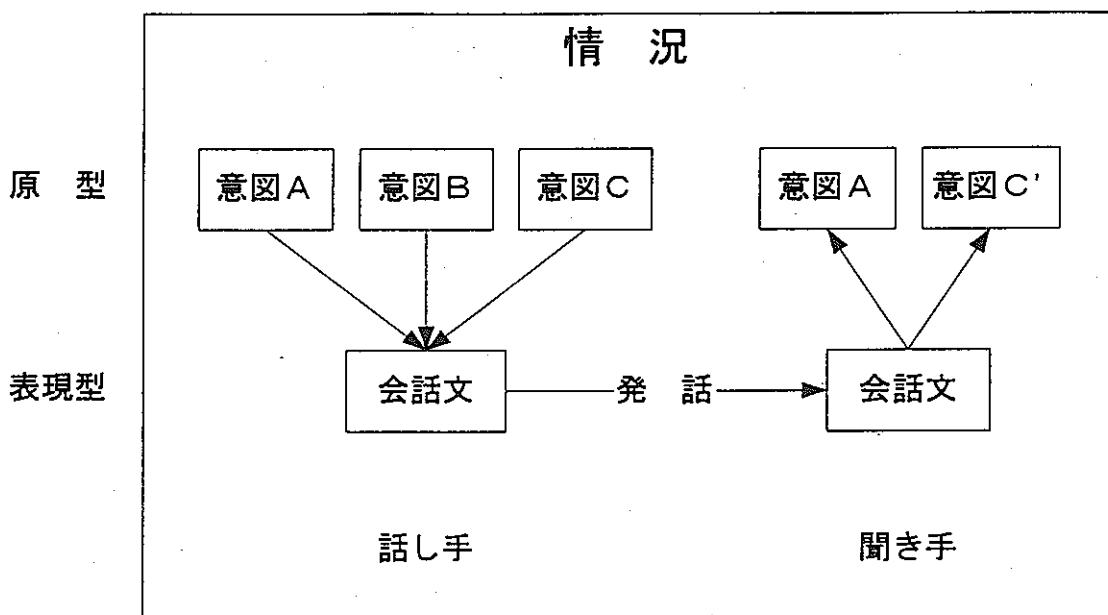


図2.3 発話によるコミュニケーションのモデル

話し手の意図は必ずしも正しく伝達されることは限らない。図では意図Aは正しく伝達されたが、意図Bは全く気付かれず、意図Cは誤解されている。

3 認知実験

3.1 概要

以上に提案した発話の原型分類の有効性を検証する目的で簡単な実験を行った。ただし今回の実験は、課題に用いたプラントが極めて単純であり、また実施できた件数も少數であったために、集団行動についての新知見を得ることが目的ではない。また有効性の検証としても十分ではないが、提案した発話の原型分類が集団行動の理解にとって意味のあるものかどうか感触を得ることと、今後の実験的研究の計画立案を目的としたパイロット的な実験である。

実験は被験者に簡単なプラントのシミュレータを操作させ、実際行われたのコミュニケーションのデータを分析するものである。被験者は2人で1組として役割を分担し、相互協力によって問題を解決する。実験は以下の点に配慮して実施した。

- 実験に使用するシミュレーターは、物理的に現実と矛盾がなく、問題解決にあたって知識ベースでの行動が必要となるだけの最低限の複雑さを有する。
- 被験者は工学系の学生程度の知識を有し、知識空間上での探索によりプラントの振舞いを定性的に理解できる。
- 被験者チームは日常会話をかわす程度に互いに面識があり、コミュニケーションによる協調作業に支障がない。
- 為験者は、実験中の被験者のコミュニケーションを不自然なものにしないため、発話を故意に阻害し、もしくは促すことをせず、実験中は観察者に徹する。

実験には図3.1に示すDURESS (Dual Reservoir System Simulation)を対象プラントとして用いた。DURESSは下流の2系統の独立のラインに、要求された温度と流量で温水を供給するプラントであり、加熱のためのヒータを備えた2基のタンクと、2機のポンプによってタンクに水を供給する冗長な給水系、および流量調整のために配置されたバルブで構成される。^[6] DURESSは被験者の問題解決を難しくするいくつかの要素を備えている。第一に、操作の効果が現れるまでに相当の時間遅れを伴う動的なシステムであること、第二に、A系統とB系統、あるいは流量と熱量に関するサブシステムの結合で成り立つため、状況によっては目標が衝突することもあり得ること、第三に機器の故障や破損の可能性があることである。

実験中に被験者が操作する画面は、アンシェーテ（警報器）部とミックル兼操作盤部からなり、各バルブおよびヒータのアイコンに添えられたスクロールバーをマウスで操作することによって操作する。プラントの状態は、各パラメータの値とともにカラーでグラフィカルに表示され、定性的、定量的な情報が得られる。また、目標値からの逸脱はアンシェーテの点灯により報ぜられる。

2人の被験者をそれぞれA, Bとし、Aはヒータの操作を、Bはバルブの操作を分担する。被験者はそれぞれの端末に表示される操作画面上でプラントの操作を行い、各系統の出口で要求される流量と温度を保って温水を供給することを課せられる。運転員間の情報交換や意思疎通の手段を会話のみに制限し、互いの操作画面は見えないようにした。また、会話の録音のためにデジタルテープレコーダを使用した。なお、被験者チームは会話が自然に行われるよう互いに面識のある工学系学科の学生、または大学院生によって組んだ。

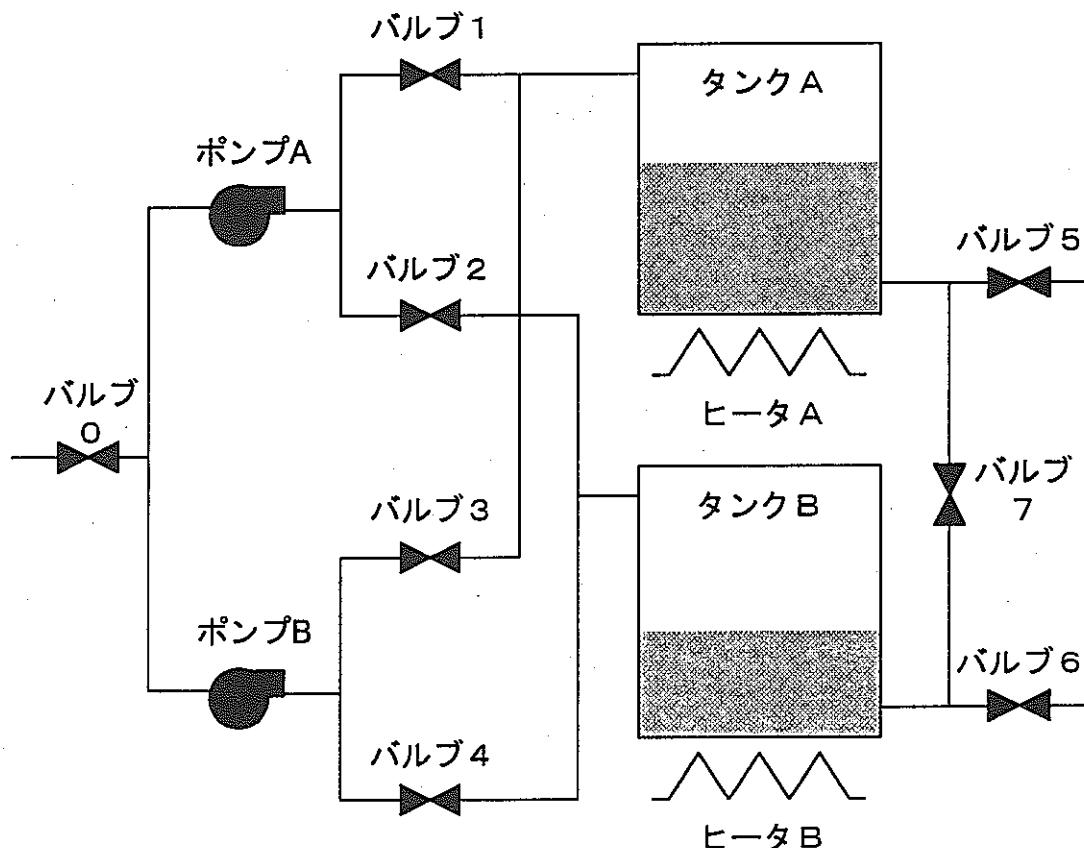


図 3.1 温水供給プラント DURESS

3.2 被験者への教示

本実験では、運転員が所有する知識の形態の違いが集団問題解決行動に与える影響を調べるために、運転員に与える知識をチームごとに変えて3通り実験を行った。このためシミュレータに関するマニュアルを2種類、すなわち起動の手順と代表的な事故の対応手順を記した操作手順マニュアル（以降マニュアルPとする）、およびタンク内での定量的なエネルギーバランスや流体のダイナミクスを解説した機構マニュアル（同じく

マニュアル M) を作成し、各チームに表 3.1 のように与えた。しかし実験件数が少なかったため、実験結果からマニュアルを変えた影響に関する知見を引き出すことは不可能であり、むしろ集団問題解決行動に変化を与えるための外乱程度の意味しかない。

表 3.1 被験者への教示方法

チーム	被験者 A	被験者 B
1	P	P
2	M	P
3	P & M	P & M

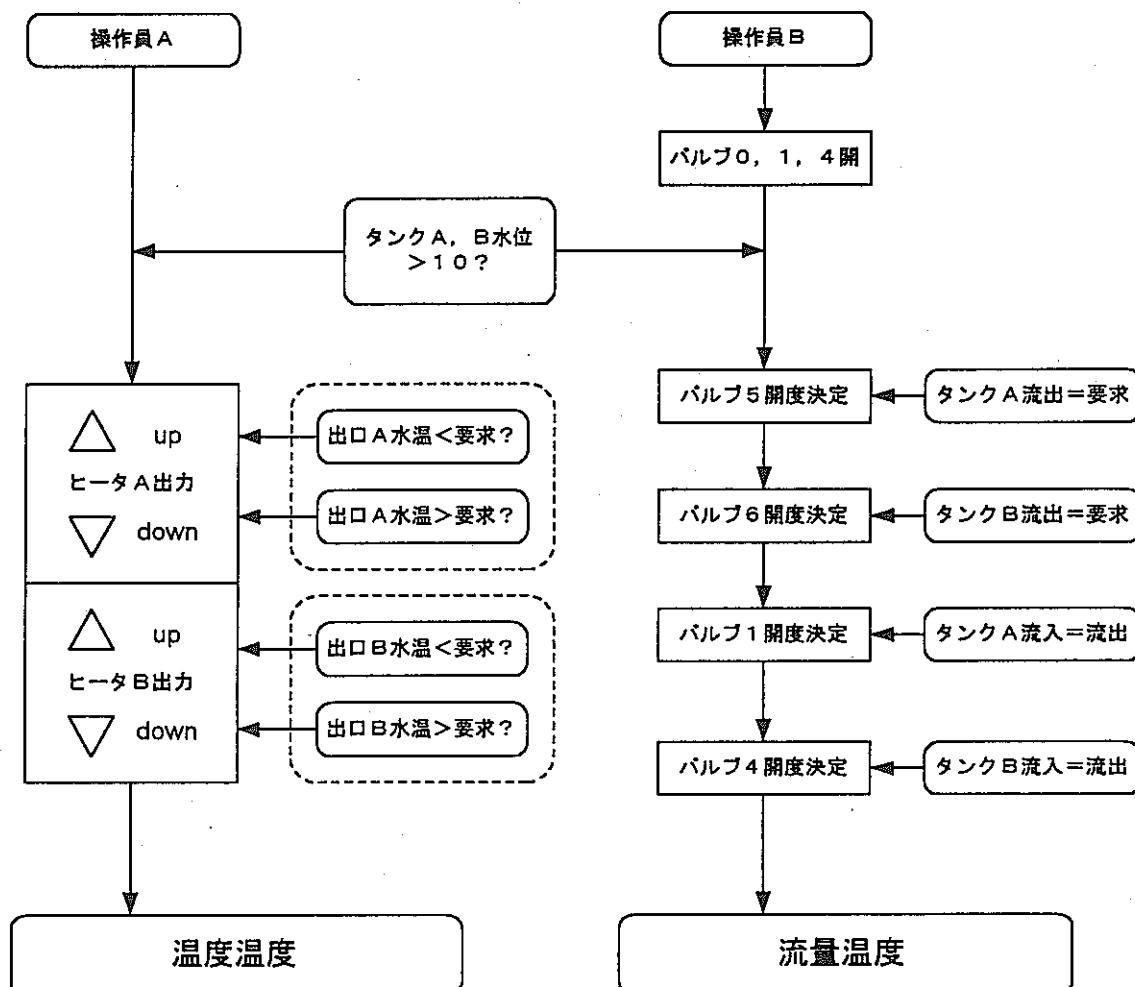


図 3.2 マニュアル P で示したプラント起動の手順

マニュアル P によって与えられる操作知識は、2層構造の知識モデル表現でいえば TH 層の知識である。目標と手段の関係の知識を得ることで想定される事象に対してもルールベースの行動でタスクが処理できる。マニュアル P では、代表的な事象を列挙し、それぞれに対する操作の手順をフローチャートで示した。操作手順を示したイベントは、プラントの起動、ポンプ A の故障、ヒータ A の故障、バルブ 2 の開閉、タンク A の破損の 5つである。例として、プラント起動の手順を示したフローチャートを図 3.2 に示す。

操作手順がマニュアル P に与えられた事象以外の事象に遭遇した場合、DURESS プラントを定常に保つにはこのプラントの動作機構を理解することが必要になってくる。これは、2層構造の知識モデル構造表現でいう QC 層の知識を使うことを意味する。マニュアル M では、タンクにおけるエネルギー・バランスの定性的な理解を助けるために、エネルギー収支の関係を幾何学的に表現することを考えた。

プラントが定常であるとは、各タンクにおける質量とエネルギーの収支が平衡しているということである。タンクの総水容積を V 、総エネルギーを E_{tot} 、入口水温を T_i 、入口流量を W_i 、出口流量を W_o 、ヒーター出力を P で表し、水の密度および比熱を ρ 、 C_p とおくと、タンク内の水量収支が

$$\frac{dV}{dt} = \frac{W_i - W_o}{\rho} \quad (1)$$

エネルギー収支が

$$\frac{dE_{tot}}{dt} = C_p(T_i W_i - T W_o) + P = \frac{d}{dt}(C_p \rho V T) \quad (2)$$

と表される。式(1)を使って式(2)を温度定常の条件で解くと、

$$\Delta T = T - T_i = \frac{P}{C_p W_i} \quad (3)$$

という関係式が得られる。これは平衡温度が、ヒーター出力 P とタンク入口流量 W_i で決ることを表し、図 3.3 のようなバランスシートで表現できる。左目盛はヒーター出力 P 、右目盛はタンク入口流量 W_i を示す。また斜めについている目盛は、出入口温度差 ΔT を表す。グラフ上で現在の ΔT を通る直線をひくと、左右の各目盛と交った値でタンク内の温度は平衡する。この図では、 $\Delta T = 40K$ のとき、タンク入口流量が 200、ヒーター出力 80% で温度が平衡することを示している。 P をこれ以上に上げるか、 W_i を減少させれば温度は上昇し、その逆では下降する。また、逆に現在の P と W_i を結べば、 ΔT の軸と交わった値がその条件での平衡温度であり、現在の ΔT との距離は温度変化の速さに比例する。このバランスシートと式(3)を示すことで、被験者がタンクのエネルギー・バランスに関する物理的因果関係を半定量的に理解することを狙った。

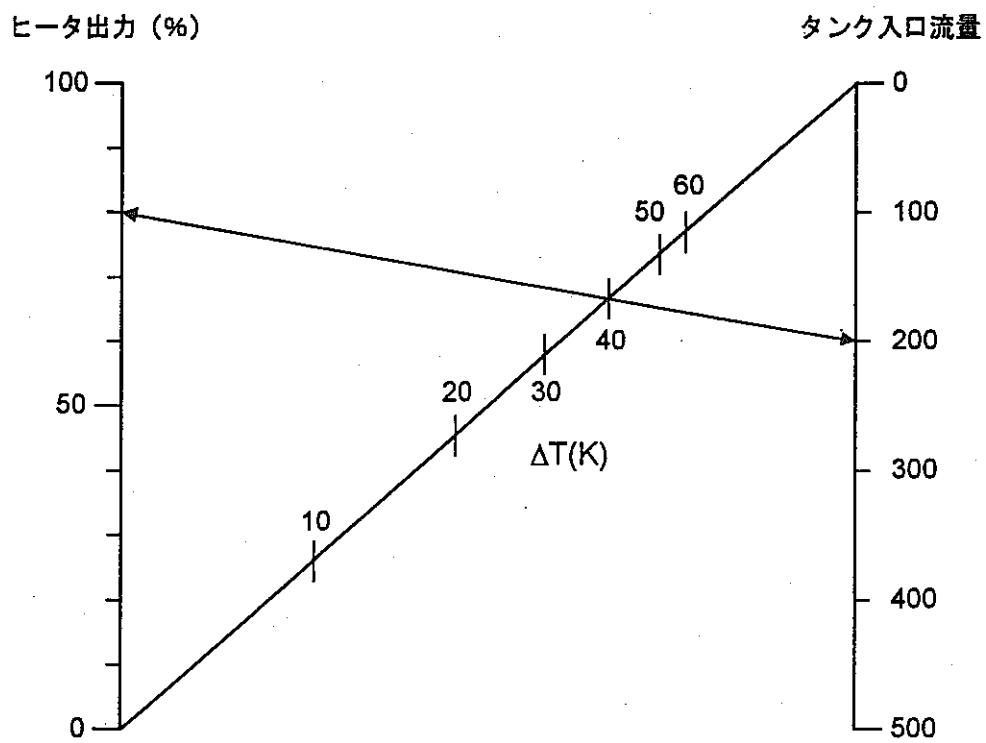


図 3.3 タンクにおけるヒーター出力と流入流量のバランス

3.3 実験の手順と課題

実験は大きく分けて次の3段階で行う。

- (1) 被験者への教示 被験者にマニュアルを手渡して熟読してもらう。質問には口頭で答えた。被験者が教材を十分に理解したと判断したら教示を終る。
- (2) 練習 シミュレータの操作に慣れてもらうため、マニュアルPに想定された異常事象が1つ発生する練習用のシナリオでの運転を2ケース行う。練習ではシミュレータをすべて一人で操作する。
- (3) 本実験 被験者Aはヒーター、被験者Bはバルブという分担でシミュレータを操作してもらう。本実験のシナリオは4ケース行い、それぞれ1つないし2つの異常事象が発生する。本実験についてのみ、会話を録音し、1秒ごとのプラントパラメータをログに記録する。また、被験者には会話の録音をすることは伝えるが、発話に関する要請は特にせず、自由発話を原則とした。

このプラントシミュレーターは、シナリオの設定により機器の故障を含む様々な事象が発生するようになっている。本実験では、練習シナリオを2ケース、本実験のシナリオを4ケース用意した。各シナリオとも500秒間で終了し、その間被験者はプラントを

定常に保つべく操作することを要求される。本実験のシナリオは、マニュアルPで操作手順を示した事象、あるいはこれと同等の事象を想定事象、その他を想定外事象と見なし、想定事象1つを含むシナリオと想定外の複合事象を含むシナリオを2ケースずつ選んだ。各シナリオの詳細は以下の通りである。

練習1 開始200秒後にポンプA故障、300秒後に要求流量変更(B系200→150)

練習2 開始200秒後に要求流量変更(A系100→300)、300秒後にタンクA破損

本実験1 開始200秒後にバルブ2開閉

マニュアルPに対応手順が示されている想定事象。水温を保つにはバルブ0を絞って流量を下げる必要があるが、タンクの水位が90%に達すると安全保護系が働いて閉じられ、閉閉着に移行する。

本実験2 開始200秒後に要求流量変更(A系100→300)、300秒後にヒータB故障

A系は要求温度が60度であり、供給流量300を維持するにはヒーターの出力が足りない。温度が下がらないように流入量を調節しつつインベントリから供給を維持する。ヒータの故障はマニュアルPに対応手順が示されている想定事象であるが、ただちにタンクBへの流入を止めなければ水温が下ってしまう。時間内にタンクが空になった場合、供給は中止する。

本実験3 開始150秒後に要求流量変更(A系100→50)、250秒後にタンクB冠水、350秒後に入口水温変化(18度→28度)

冠水はマニュアルにあげられていない想定外の事象である。タンクAへの流入を止め、排水しなければタンクBは冠水し続ける。

本実験4 開始200秒後にパイプ破断(バルブ2の下流)、300秒後にポンプB故障

通常バルブ2は閉じているので、ポンプの故障によりバルブ2を開いたときに気付く。タンクBへの給水手段がなくなるので、ヒーターを切らなければ水温が上昇してしまう。

3.4 実験結果

3.4.1 作業成績

コミュニケーションに現れる協調行動と作業成績の関係を明かにするため、作業成績を評価した。被験者には、できるだけ下流側から要求された温度の水を要求された流量で供給することを求めたので、実験のログより要求された流量および水温からの実際の流量と水温の偏差を積算した値により作業成績を評価した。なお、実験シナリオ3については、タンクの破損により要求を満たすことが不可能なので、このシナリオのみ故障系統は偏差の計算から除外した。したがって、同一シナリオでのチーム間の成績比較には問題ないが、シナリオ間の成績比較にはこの評価法は向かない。表3.2に結果を示す。チーム3の成績が全般的に優れており、また安定しているように見えるが、統計的に有意な差ではない。

表 3.2 作業成績の評価結果

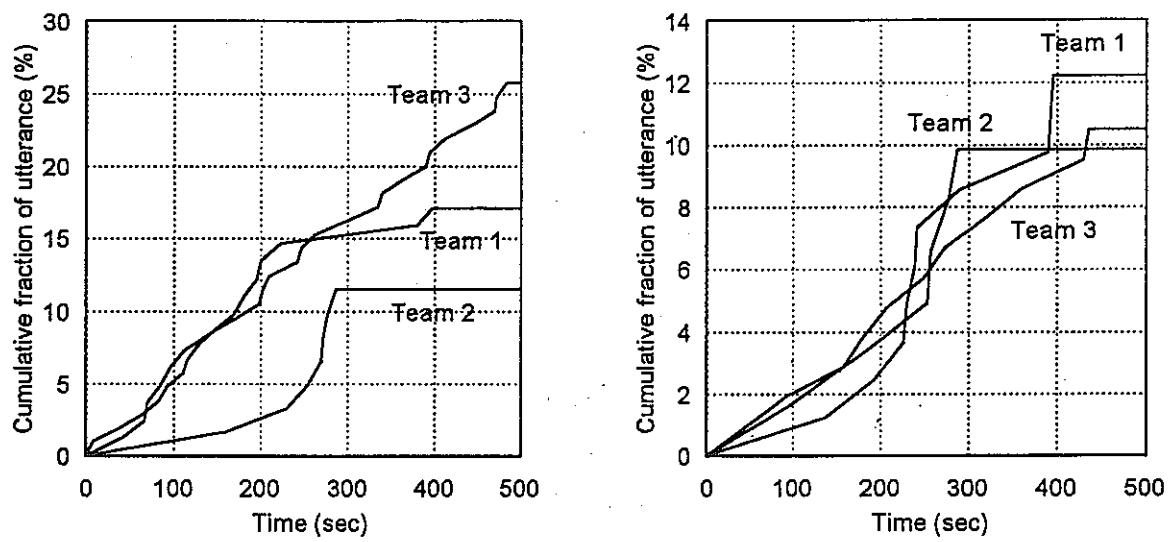
シナリオ	チーム1	チーム2	チーム3
1	3.8	3.2	9.3
2	17.3	9.4	9.2
3	12.1	12.4	9.0
4	3.9	20.8	2.4

3.4.2 発話分析

各ケースについて、発話の原型による分類うち、操作以外の知識モデル共有と知識モデル操作の機能に関すると思われる発話の頻度を求め、作業成績との関連性を検討した。知識モデル共有に用いられる発話の原型としては、知識モデル同定、知識単位伝達、制約認識、知識モデル領域限定の各応答モード、知識モデル操作に用いられる発話の原型としては知識モデル操作の要求／応答モード、制約評価の応答モードに分類される発話の累積回数をチームごとに集計した。

シナリオ 1

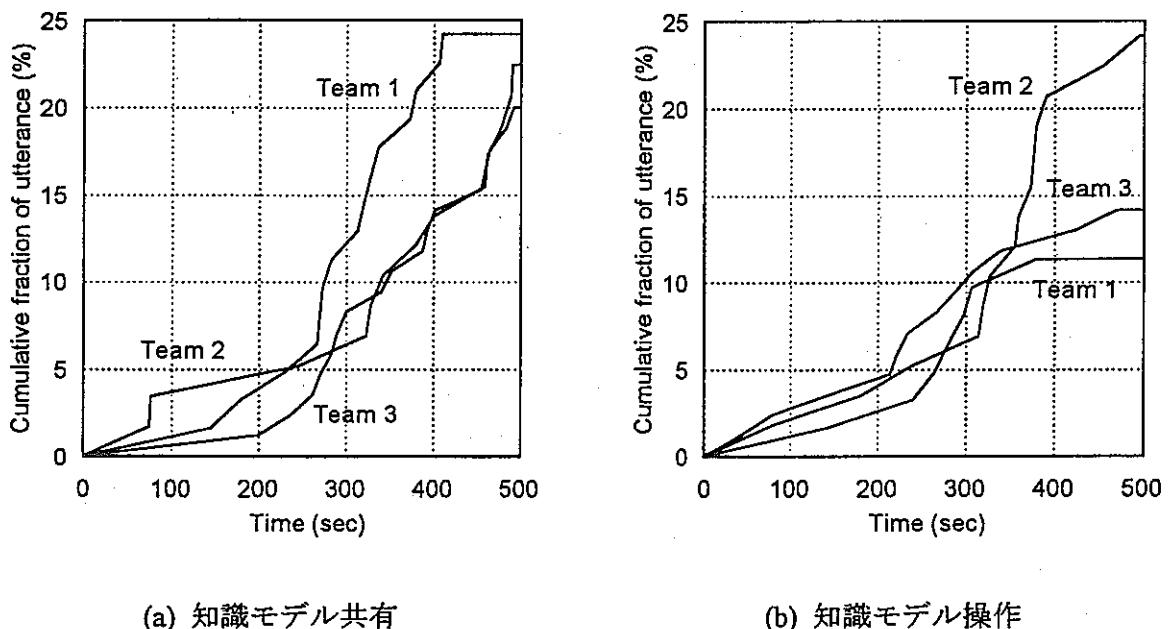
このケースは、マニュアル P に記載された対応手順で対処できるものであるが、TH 層での探索により対応を導くこともできる。マニュアルに頼らなかったチーム 1, 2 は、知識モデル上で探索を行った過程が図 3.4(b)において 200 秒から 300 秒の間でグラフの傾きが急激に大きくなっていることから分かる。しかしチーム 2 は、情報交換の絶対量が少なく、正しい手順を導出できなかった。それにもかかわらず成績が良かったのは、放置しておくとバルブ 2 は安全保護系によって閉じてしまうからである。この点はシナリオの不備であった。これに対してチーム 3 は、マニュアルを参照して対応操作を行っていたが、手順を飛ばすというミスのために結果は悪くなつた。このことは、図 3.4(a)においてグラフの傾きが単調であることから、知識モデルの共有が不十分であったと考えることができる。



(a) 知識モデル共有

(b) 知識モデル操作

図 3.4 発話頻度の比較（シナリオ 1）



(a) 知識モデル共有

(b) 知識モデル操作

図 3.5 発話頻度の比較（シナリオ 2）

シナリオ 2

ヒータの故障は、いずれのチームもマニュアルの知識でなく、知識モデル上の探索により対応手順を導き出した。しかし要求流量変更の方は、流量を定常に保つと温度が保てないという競合が発生するため、その処理の様子がチームによって異なった。最も成績の悪いチーム 1 は、はじめは流量を、次には温度を優先させようとして中途半端にな

った。競合解消のための会話が不足していることが図3.5(b)からもうかがわれる。これは2人とも操作知識しか与えられていないことの結果と考えることができる。チーム2の会話は、主にバルブ7を開いて水を混ぜるという計画の導出と、そのための操作手順の導出に費やされた。また、チーム3は、早い時期に方針が決定されたので、事象発生直後以外では目立つような特徴は見られなかった。この違いは、知識配分の差よりも、機構知識の理解の深さの差によるものと思われる。

シナリオ3

このシナリオは事象の同定も必要になるというもので、コミュニケーションの絶対量と現象の理解の早さはほぼ比例した。チーム3は最も早く、タンクの破損後約180秒で同定した。チーム1は、シナリオ3が終了した後ではあったが、ヒントもなしで同定できたが、チーム2は同定できなかった。一方、上流での水温の変化は、先に起るタンクBの冠水に徴候が似通い、埋もれてしまうので、正確に同定できたチームはなかった。ただ、チーム2は、タンクBの冠水を水温変化として解釈しようとしていた。

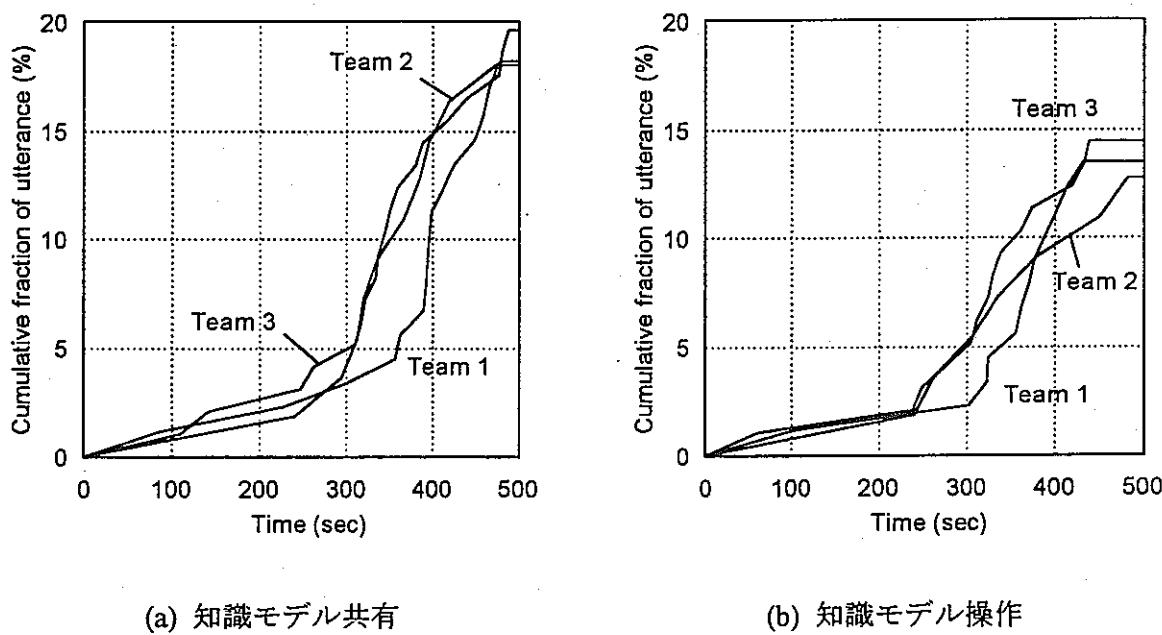


図3.6 発話頻度の比較（シナリオ3）

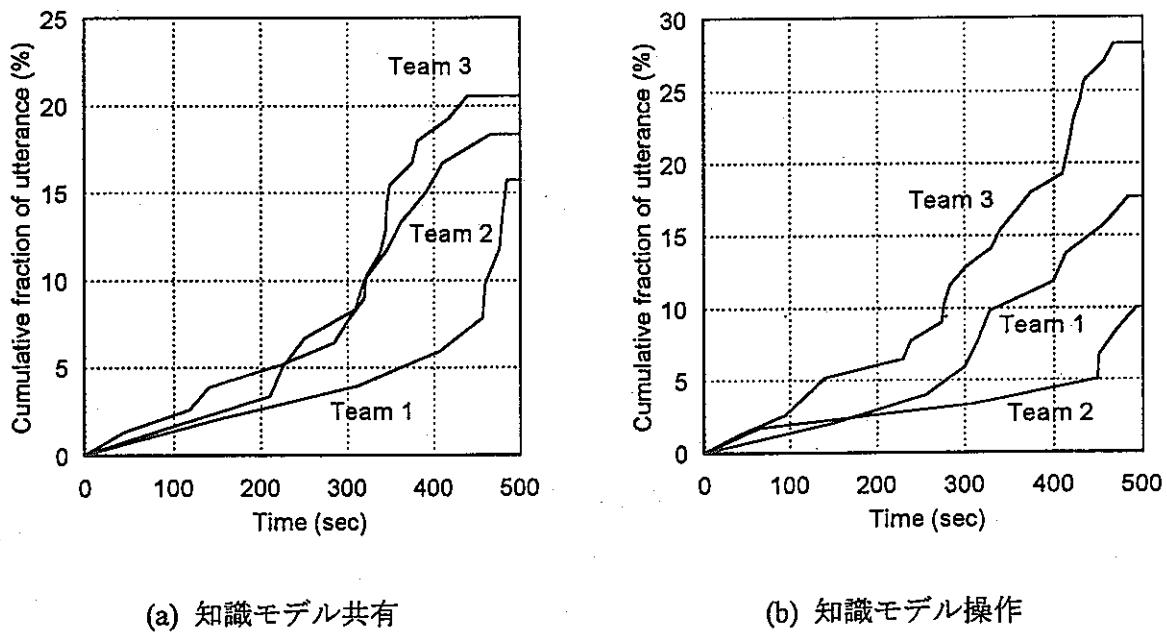


図 3.7 発話頻度の比較 (シナリオ 4)

シナリオ 4

このシナリオは、個々の事象には操作手順書にしたがって対処できる事象が複数することで、一つの想定外事象を形成している。チーム 2 の評価が悪いが、これは終了前にタンクが空になったためで、知識モデル操作の発話割合が極端に低いことが原因していると思われる。しかし、このケースでは、ポンプが停止した時点での対処の判断の遅れはそのまま B 系の水温の回復不能な上昇となって現れるという特性があり、その観点で評価すると、ポンプの停止前からの温度の上昇はチーム 1 が 1 度、チーム 2 が 3 度、チーム 3 が 2 度と、事象発生直後に対応に関する知識モデル操作のための会話を行ったチームのパフォーマンスが良かったことが図 3.7(b)からうかがわれる。

3.5まとめ

実験の結果をまとめると、集団問題解決においては、プラントに対しての知識モデル上で探索することによって現象の理解、行動計画の導出を行うための機能がグループコミュニケーションには不可欠であることが示唆された。そして、知識モデルを共有することがこれをより効果的に行うための助けになっていると考えられる。

一方、はじめに与える知識の分配の仕方による差はそれほど現れていないが、それはこの実験で用いたプラントの構造がそれほど複雑でなく、先入観による振舞いの予測が先立つためと、被験者の教示にかけた時間があまり長くなかったことによるものと考えられる。

本実験では、提案された発話の原型分類に基いて簡単なプラントシミュレータを用いた実験を分析し、その有効性を確認した。その結果、原型による発話分析法は、従来の

表現型による手法と比べて、集団問題解決行動の分析法として以下の点で優れていると考えられる。

- 知識モデル表現と照らし合わせることが容易で、知識モデルのどの部分が関与する発話であるか記述することができる。
- 集団内での知識モデルの統合や、集団で共有する知識モデル上での探索の過程が定量的に評価できる。
- この分析の結果から、作業成績がある程度推定できる。

しかし今回は実験の試行件数が多くなかったので、統計的に有意な結果が得られたわけではなく、原型分類の有効性を実証するまでには至っていない。またこの分析には分析者の専門的知識が関与するので、客観性を高めるためには何らかの原型分類の指針が必要であり、今後の改良が必要である。

4 シミュレーション

4.1 概 要

認知心理学や認知科学で得られた知見を工学的に応用し、人間機械系の設計に役立てる方法の一つに認知行動シミュレーションがある。これは運転員行動のモデルを実際に実行可能なプログラムとして計算機上に実装し、これとプラントのシミュレータとを組合せて、人間機械系全体の計算機シミュレーションを行うことによって、人間機械系の特性を予測しようというものである。

我々のグループでは、こうしたシミュレーションを実現するための技術開発を行ってきたが、集団行動におけるコミュニケーションのモデル化は、いまだ十分に完成されていない。^{[7][8]}そこで、これまでに述べた2層構造の知識モデルや、集団協調機能を実現するためのコミュニケーション・モデルなどを、我々が開発した運転員認知行動シミュレーション・システム（OCCS）に組込んで、集団問題解決の機序の解明に有効なシステムを開発する。

4.2 シミュレーションシステム

本研究で用いた運転員認知行動シミュレーション・システム（OCCS）では、個人の認知モデルとして Rasumussen の「意思決定の梯子モデル」を記号処理技術を用いて計算可能な形にしたもの用いている。^[9]このモデルは、図 4.1 に示すように感覚情報、観測、仮説、信念、計画の5種類の情報と、これらを変換・処理する7つの情報処理プロセスより構成される。このうち、「梯子」の左側は外部環境の状態認識を、右側は行動の計画と実行をモデル化している。実際の認知過程は、次の8つの認知タスクによつて実行されると仮定している。

- (1) 感覚信号の認識
- (2) 類似性照合による仮説の想起
- (3) 観測による仮説の検証
- (4) ルール適用による推論
- (5) スキルの適用
- (6) 信念の確認のための観測行動の計画
- (7) 行動計画の実行
- (8) ランダムな監視

このうち「仮説の想起」、「スキルの適用」と、「ルールの適用」に先立つ「ルールの活性化」は運転員の意識外で行われるのに対し、その他の認知タスクは意識下で行われると仮定している。シミュレーション・システムへの実装に際して、意識外で行われる

処理はデモンとして実行され、意識下で行われる認知タスクの制御には黒板制御モデルを用いている。黒板制御ではタスク優先度の付け方を変えることによって、極めて柔軟な制御を実現することが可能である。

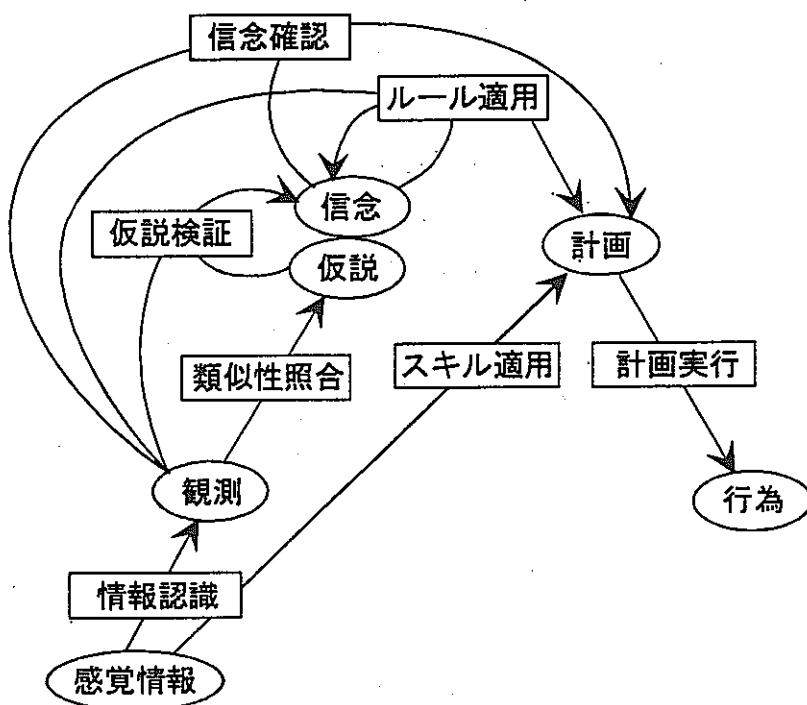


図4.1 運転員の認知モデル

ところで Rasmussen モデルを採用したのは、このモデルが運転員の情報処理過程を概念的にはほぼ網羅していると考えられるからであるが、制御に関しては不十分な点も見られる。オリジナルの Rasmussen モデルではルールやスキルの利用による処理ステップのショート・カットが想定されているものの、認知プロセス内のループや後戻りは重視しておらず、手続的性格をかなり持っている。^[10]これに対し、本モデルの黒板制御は情況の変化によって処理順序が柔軟に変更でき、情況に依存する人の認知過程のモデルとして、より適切なものとなっている。

シミュレーション・システムは図4.2に示すような黒板型知識ベースシステムとして、UNIXワークステーション上にProlog言語を用いて実装されている。黒板型知識ベース・システムは「黒板」と呼ばれる共用のデータベースを介して、多数の推論エンジンが協調的に問題を解決するようなシステムである。本システムではこの黒板を人の作業記憶に、知識ベースを長期記憶に見立てている。集団内の個人は各々独立に動く1組の黒板と知識ベースによって表され、エージェントと呼ばれる。エージェント同士は述

語の形式で表現されたメッセージの交換によって、情報を伝達することができるが、メッセージは外部環境から取得した情報と区別なく処理される。なお、情報取得には視覚と聴覚の二つのモダリティが考慮されている。

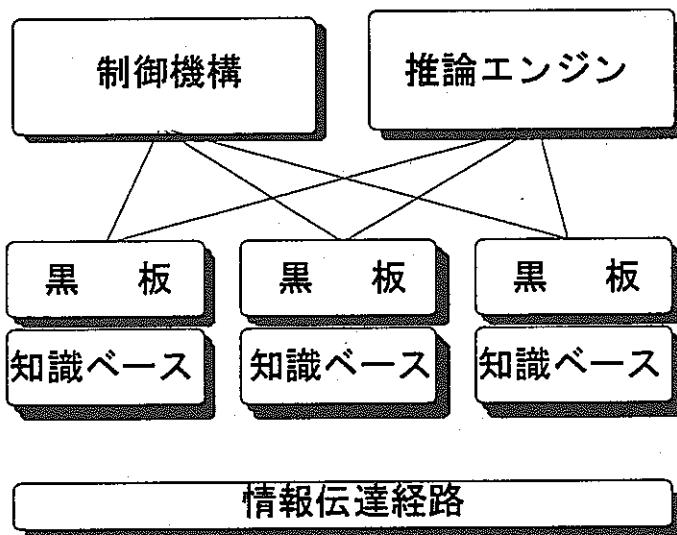


図4.2 シミュレーション・システムの構造

4.3 コミュニケーション・ルール

すでに述べたように、発話の表現型と原型には1対多の対応関係があり、話し手はいくつかの意図をある会話文に表現し、聞き手は会話文から話し手の意図を復元できなければコミュニケーションが成立しない。聞き手が会話文から読み取る意図の中には、会話文が直接示唆する最小限の意図から、効率的な集団問題解決には読み取ることが望ましい、いわば機転の領域に属する意図まで考えられる。しかし、相手の知識所有状態や現在の状況を考慮せずに機転を利かせることは、無用な情報増大させてかえって効率的集団問題解決にマイナスに働くこともある。したがって発話の表面的形態ばかりではなく、状況を考慮して話し手の意図を読み取らなければならない。

ある意図を会話文に変換したり、聞いた会話文から話し手の意図を復元するための知識をコミュニケーション・ルールと呼ぶことにする。最も基本的なコミュニケーション・ルールは、発話の表現型と原型との可能な対応関係である。上に述べたように、意図をどこまで汲むべきかは状況に依存して決るので、この対応関係だけでコミュニケーションを行うことはできないが、この可能な対応関係はより現実的なコミュニケーション・ルールの雛形である。そこでまず、表現型と原型の可能な対応関係を整理した。

表4.1.1-5はTADEMと吉川らの発話分類を参考にして定めた表現型分類を用いた場

合の、表現型と原型の可能な対応関係を示したものである。これらの表では、列に発話の動詞部による表現型分類を、行に発話の原型分類を示しており、数字は大きいほど対応する可能性が大きいことを示している。また対応関係の評価は、今回のシミュレーション課題で必要とした原型についてのみ行っている。

表 4.1 発話の表現型と原型の対応関係（目的語部：プラント状態）

	叙述	質問	指示	指示・要求	提案・推測
情報共有					
・ 1次情報		3		3	3
・ 高次情報				3	3
知識モデル共有					
・ 知識モデル同定	1	1	1		1
・ 知識単位伝達	1				
・ 知識モデル操作	1	3			3
操作の実行					
・ 制約条件等評価			2		2
・ 操作実行					1

表 4.2 発話の表現型と原型の対応関係（目的語部：状態の進展）

	叙述	質問	指示	指示・要求	提案・推測
情報共有					
・ 1次情報	2	2		2	3
・ 高次情報	3	3		3	3
知識モデル共有					
・ 知識モデル同定	2	2	2		2
・ 知識単位伝達			1		1
・ 知識モデル操作					
操作の実行					
・ 制約条件等評価			1		1
・ 操作実行					1

表 4.3 発話の表現型と原型の対応関係（目的語部：因果関係）

	叙述	質問	指示	指示・要求	提案・推測
情報共有					
・1次情報		1	1		1
・高次情報		1	1		1
知識モデル共有					
・知識モデル同定	1	2	2		2
・知識単位伝達		1	1		1
・知識モデル操作	1	3	3		2
操作の実行					
・制約条件等評価			1		1
・操作実行			3		1

表 4.4 発話の表現型と原型の対応関係（目的語部：操作）

	叙述	質問	指示	指示・要求	提案・推測
情報共有					
・1次情報	1		1		1
・高次情報	1		1		1
知識モデル共有					
・知識モデル同定	1	2	2		2
・知識単位伝達	1	1	1		1
・知識モデル操作	1	3	3		3
操作の実行					
・制約条件等評価			2		2
・操作実行			3		2

表 4.5 発話の表現型と原型の対応関係（目的語部：状態／操作の評価）

	叙述	質問	指示	指示・要求	提案・推測
情報共有					
・ 1次情報	2	2	2		2
・ 高次情報	2	2	2		2
知識モデル共有					
・ 知識モデル同定					
・ 知識単位伝達					
・ 知識モデル操作	3	3	2		3
操作の実行					
・ 制約条件等評価					
・ 操作実行	2		3		

シミュレーションシステムでは、この対応関係をルールの形に表現した知識を用いて、意図から会話文への変換と、会話文から意図への展開を行うようにしている。そして、意図の展開をどの程度の範囲で行うかをパラメータとして動かし、作業効率とのトレードオフを調べることとした。

4.4 シミュレーション条件

シミュレーションの対象プラントには認知実験と同じ温水供給プラント DURESS を用い、プラントは2人の運転員で運転することとし、運転員Aはヒータによる温度調節を、運転員Bはバルブによる流量調節を分担することとする。また各運転員モデルの知識ベースには、2層構造知識モデルにおける操作知識（P型知識）、機構知識（M型知識）あるいはその両方を様々な組合せで与えたケースについてシミュレーションを行った。

本シミュレーションでは簡単のため、会話文の生成において原型と表現型の対応を1対1とし、複数意図を一つの表現に込めるとはしていないが、意図の復元においては次のような3種類の戦略を用いて、コミュニケーション戦略の違いによる影響を調べることとする。

- (a) 相手の発話から、考えうる限りの全ての意図を作業記憶に生成する。
- (b) 相手の知識状態の認識やタスクに要する時間を考慮して、必要と思われる意図のみを作業記憶に生成する。
- (c) 表現型から指示命令と明かに判断できる場合以外、相手の発話への対応はしない。

シミュレーションのシナリオとして、運転員Bの担当機器に、操作知識だけでは解決困難な想定外の故障が起るもの用いた。運転員Bは故障機器を担当しているため、利用可能な情報は全て利用するものと考えられる。そこで、運転員Bのコミュニケーション戦略として上の戦略aのみを考慮し、運転員Aのコミュニケーション戦略を様々に変えてその影響を調べた。

4.5 シミュレーション結果

故障発生から回復操作の開始までに要したターン数、その間の2人の運転員が行った認知タスクのうち冗長なタスク実行の回数、無意味な発話の回数をもって作業効率の指標とする。ただし、ここでいう無意味な発話とは、相手が既知の情報を伝達しようとした発話を示す。

表4.6 シミュレーションの結果

ケース	所有知識 A/B	戦略 A/B	所要ターン数	冗長タスク数	無意味発話回数
1	PM/PM	a/a	67	5	9
2	PM/PM	b/a	41	1	2
3	PM/PM	c/a	33	0	0
4	M/P	a/a	61	5	7
5	M/P	b/a	38	1	2
6	M/P	c/a		対応失敗	

2人の運転員がともに戦略aをとると、両運転員が同様の行動をとるようになり、作業効率が低下することがケース1、4の結果より分る。これらのケースでは、運転員Bが既に認識している情報をも運転員Aが発話しているため、運転員Bの作業が妨害されている。これに対して、ケース2、5では、運転員Bが異常なパラメータを報告すると運転員Aはそのパラメータを自発的に監視しているが、運転員Bのタスクが完了するまで発話を控えているため、運転員Bの妨害になるようなことはない。これらのことから、問題解決に必要な知識が不完全であってもコミュニケーションによる知識共有によって問題解決能力が補完されていること、また表現型から原型への展開の程度、すなわち気を利かせる程度には作業効率に関してトレードオフがあり、適切なレベルが存在することが分る。

ケース3では運転員Bが異常対応に必要な知識を全て所有し、また対象としたプラン

トが1人で対応可能な程度の規模しかなかったので、運転員Bだけで対応してしまっている。そして、このケースの作業効率が最もよい結果となっている。しかし運転員Bが操作知識しか持たないケース6では個人的に対応できずに、失敗している。同様の知識配分でもケース5では、ケース3と大差ない作業効率で成功しており、知識の不備を補完する適切なコミュニケーション戦略が用いられた場合には、確かにチームとして統合化されたシステムのように振舞うことができる。

なお、本シミュレーションでは機構知識がないと解けないと想定外事象を含むシナリオを用いており、本シミュレーションで得られた結果を単純に一般化することはできない。たとえば操作知識のみで解けるシナリオの場合、運転員が2人とも機構知識しか持っていないとしても対応可能なはずであるが、操作知識を持つ運転員が居る場合の方が作業効率はよいはずである。同様のシナリオで操作知識と機構知識の両方を持っていた場合には、当然機構知識より操作知識を用いることが予測されるが、認知実験の一部のケースで見られたように、操作知識のみで対応できる場合にも機構知識を使って対応することがないとは限らない。しかし、認知実験でそのようなケースが見られたのは、被験者が操作手順を十分に習得していなかったためであると考えられ、訓練を積んだ運転員にそのようなことはほとんどないと予想される。その他の組合せについては、事象シナリオや故障が起きた機器の担当者に、作業効率の高くなる知識の所有形態とコミュニケーション戦略の組合せが依存することになる。

4.6まとめ

集団問題解決におけるコミュニケーション・モデルを、運転員認知行動シミュレーション・システム（OCCS）に組込み、集団による知識モデル共用形態を考慮したシミュレーションができるシステムを開発した。このシステムを用いて温水供給 DURESS の運転シミュレーションを行い、成員による知識の所有形態と、コミュニケーション戦略の違いが集団作業成績に与える影響を調べた。その結果、個人的に不完全な知識しか持っていない場合でも、知識モデル共用のための適切なコミュニケーションを行うことによって高い集団作業効率が達成されうること、作業効率に関してコミュニケーション戦略にはある種のトレードオフがあり、情報依存のコミュニケーション・ルールを用いることが円滑な集団作業に必要であることなどが、シミュレーションで再現でき、集団過程の機序を解明する手法としてのシミュレーション手法の有効性が確認された。

5 結 論

集団問題解決においては、集団の成員が所有する認知資源をいかに統合し、協調的に働く一つの認知システムを構築できるかが、円滑なる集団行動を実現するための鍵となる。この統合を達成するための最も重要な手段が、発話によるコミュニケーションである。そこで 発話の認知システム統合に果す本質的役割に着目し、発話生成の意図・目的を発話の原型として分類する手法を提案した。

つぎに提案した発話分析の有効性を確認るために、温水供給プラント DURESS を用いた2人チームによる簡単な認知実験を行った。実験の結果、集団作業成績と知識モデル共有、知識モデル操作のために行われた発話割合との間に関係が見られ、原型による分類法が集団過程の機序に接近する上で有用な情報をもたらしうることが示唆された。

また、発話の表現型、原型分類に基くコミュニケーション・モデルを、運転員認知行動シミュレーション・システム (OCCS) に組込んで、同じく DURESS の運転を課題とした計算機シミュレーションを実施した。その結果、知識の所有形態とコミュニケーション戦略が作業効率に与える影響を示すことができ、集団過程の機序を解明する手段として役立つことを確認した。

参考文献

- [1] Rasmussen, J.: Skills, rules, knowledge: signals, signs, and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*. MSC-13, 257-267 (1983).
- [2] Furuhama, Y., Furuta, K. & Kondo, S.: A methodology to represent plant operator's mental model for training support system. *Proc. 5th European Conf. on Cognitive Science Approaches to Process Control*, 137-146 Espoo, Finland (1995).
- [3] Hollnagel, E.: The phenotype of erroneous actions. *Int. J. of Man-Machine studies*, 39, 1-32 (1993).
- [4] 佐相邦英・長坂彰彦・行待武生: チーム行動に関する一次解析技法の改良. *人間工学*, 26, 251-260 (1990).
- [5] Yoshikawa, S., et al.: Observations and trial formulation of knowledge dependency of plant operator behavior. *Proc. Post HCI'95 Conf. Seminar on Human-Machine Interface in Process Control*, 47-58, Kyoto (1995).
- [6] Vicente, K.J. & Rasmussen, J.: The ecology of human-machine systems II: Mediating "direct perception" in complex work domains. *Ecological Psychology*, 2, 207-249 (1990).
- [7] Furuta, K. & Kondo, S.: An approach to assessment of plant man-machine systems by computer simulation of an operator's cognitive behavior. *Int. J. of Man-Machine Studies*, 39, 473-493 (1993).
- [8] 古田一雄 他: 運転員認知モデルを用いたプラント異常診断認知過程. *日本原子力学会誌*, 38, 65-74 (1996).
- [9] Rasmussen, J.: Outlines of a hybrid model of the process operator. In Sheridan, T.B. & Johansen, G (Eds.), *Monitoring Behavior and Supervisory Control*. New York: Plenum Press (1976).
- [10] Hollnagel, E.: *Human Reliability Analysis: Context and Control*. London: Academic Press (1993). [古田一雄(監訳), 認知システム工学. 海文堂]