

TM-0162

知的対話システムの対話管理機能

島田ひとみ、近藤省造、太細 孝

(三菱電機)

岩下安男 (ICOT)

April, 1986

©1986, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191~5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

知的対話システムの対話管理機能

DIALOGUE MANAGEMENT MECHANISM IN INTELLIGENT DIALOGUE SYSTEM

島田 ひとみ* 近藤 省造* 太細 孝* 岩下 安男**

Hitomi SHIMADA Shozo KONDO Takashi DASAI Yasuo IWASHITA

* 三菱電機 情報電子研究所

** 新世代コンピュータ技術開発機構

Mitsubishi Electric Corporation

Institute for New Generation Computer Technology

(Information Systems & Electronics Development Laboratories)

1. はじめに

近年、計算機の普及に伴い、マンマシンインタフェースに対し、自然かつ円滑な対話を実現するための機能が求められるようになってきているが、このような機能を十分実現しているシステムは、まだない。この原因としては、主として、自然言語処理の問題、音声認識技術の問題、対話管理機能の問題、の3点が考えられる。これらはいずれも切り離しては考えられない問題であり、相互に作用しあって初めて十分な機能が得られるものであるから、これら3点を統合的に開発していく必要がある。

以上のような観点から、現在、知的対話システム (Intelligent Dialogue System: 以下IDSと略す) を開発中である。本システムでは、上記マンマシン間の自然で円滑な対話を実現するための音声認識、自然言語処理及び対話管理の基本技術の統合的な開発をめざしたシステムである。

一般に、対話システムは、達成すべき目的の有無により、自由展開型と目的指向型に大別されるが、本システムは、応用性、実用性といった点から後者の立場をとる。目的指向型の対話においては目的を効率よく達成するために、より積極的で協調的な対話が必要である(2.3.4)。そのためには、システムは、自分自身とユーザのプラン(13.18~20)を把握し、これに沿って、話題や文脈を認識し(6.7.8.15~17)、対処できなくてはならない。

このような対話に関する諸性質や、人間の心理学的側面については、まだ、決定的な理論がなく、現在盛んに研究されている(11.12.13)。また、各種システム例(2.3.4)や、処理方式(13.14.18~20)の開発も行われているが、それらはまだ、技術的には非常に断片的、限定的なものが多い。そこで、本システムでは、上記のような目的指向型の対話を抽象化する対話モデルを提案し、これに基づく知的対話管理機能を提供して、ユーザとシステムとの柔軟で効率のよい対話を実現する。

本稿では、まずIDSについて概説した後、この知的対話管理機能を中心に述べる。

2. 知的対話システム概要

2-1. 対象分野

前記3技術の現状を見ると、各種処理方式が研究開発されているが、実用性の点からは、対象分野を限定した方が性能の向上が望める。そこで、本システムでは、対象分野をある程度限定し、その分野において、充分使用できる規模の自然言語(日本語会話文)を処理し、知的対話機能により、その分野で必要な操作を効率よく実行するものとする。

ところで、近年の社会を見ると、ありとあらゆるところに情報が蓄積され、利用されている。即ち、情報の検索を基本に持つような作業は、非常にポピュラーで、どこにでも存在するため、応用価値が高く、また、汎用性も高いといえる。そこで、データベース検索を基本として想定し、これを利用して何か作業を行うような場面の対話を対象として考えることにした。

2-2. 構成

図1にIDSの構成を示す。

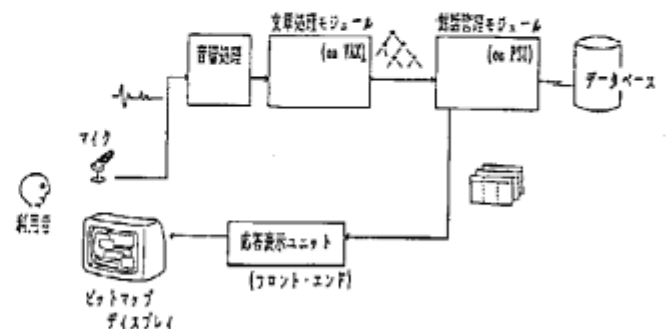


図1. 知的対話システムの構成

2-3. 文章処理モジュール

音声認識、自然言語処理を司る機能モジュールである。

マイクを通してユーザから入力された音声日本語会話文は、まず、音響処理部で処理され、音響記号列に変換される。この、音響記号列は多くの曖昧さを持つ。文章処理モジュールは、この記号列から、構文、意味、及び、文脈等に関する知識を利用して、会話文の文法にかなう記号列を選択し、同時に、候補文を解析木（構文ネットワーク）として対話管理モジュールに送る。

文章処理モジュールの知識だけでは、記号列の曖昧さを完全に除去することができず、出力の解析木には、通常、複数の候補文が含まれる。

2-4. 対話管理モジュール

対話管理機能を司る対話管理モジュールの構成を図2に示す。

文章処理モジュールの出力である複数の解析木は、単一化ユニットに送られる。単一化ユニットでは、まず、複数の解析木を1つにしばりこみ、次に、解析木を対話管理モジュールで扱う内部データ構造（内部表現形式と呼ぶ）に変換する。対話管理ユニットでは、4. で述べるような各種の知的対話管理機能を内部表現形式に適応して処理し、入力文を理解して、入力文の要求に応じたデータベースアクセスコマンド生成情報（コマンド生成用テンプレートと呼ぶ）をコマンド生成ユニットに送る。また、協調的な応答を生成して、応答表示ユニットに送る。なお、対話管理ユニットでの処理結果は、予測情報として単一化ユニットに送られ、解析木のしばりこみ、構造変換、照応の処理等に利用される。この予測情報を特に、発話予測情報と呼ぶ。

コマンド生成ユニットでは、コマンド生成用テンプレートを基に、データベースアクセスコマンドを作成し、データベース検索を実施する。データベースの違いは、このコマンド生成ユニットで吸収される。

3. 対話モデル

より柔軟で汎用性の高い対話機能を実現するためには、対話のモデル化が基本的に必要である。

3-1. 提案

モデル化の研究は、各種の対話要素技術の実現、概念の認識等に深く関わっており、いくつかの提案例も発表されているが[2~4, 8, 9, 13, 16], 未だ決定的なものはない。

IDSでは、データベース検索を基本として持つような目的指向型の対話を、ある達成すべき目的を抱くユーザと、その目的を達成するための手段を有する応用システムとの間で交わされる対話であると抽象化し、次の様にモデル化して扱う。

<IDSにおける対話モデル>

①システムはいくつかの“目的”を達成するための“手段”の集合を持つ。

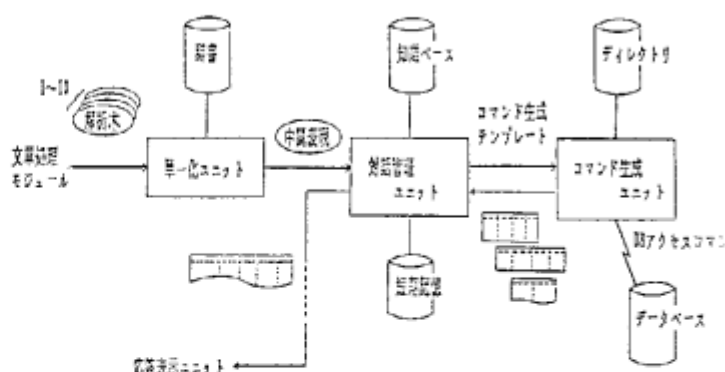


図2. 対話管理モジュールの内部構成

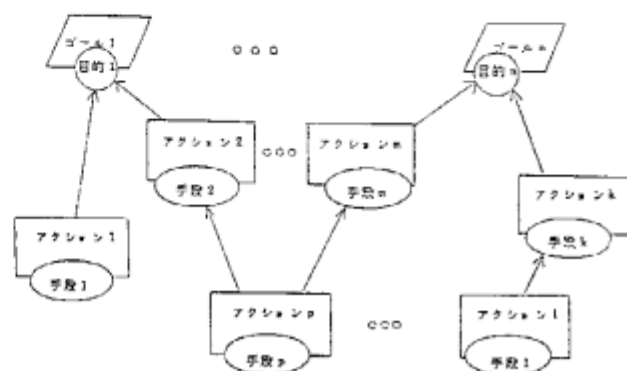


図3-a. 対話モデル

②各“目的”にはそれを達成するための模範的な“手段”の列が対応する。これが“システムプラン”である。

③“目的”の具体的な表現が“ゴール”である。

④“手段”の具体的な表現が“アクション”である。

⑤ユーザは、システムと対話する際にはまず、何か“目的”を持っている。

⑥そしてその“目的”を達成するためにユーザなりに“手段”の列を想定する。これが“ユーザプラン”である。

⑦“プラン”は“アクション”列で表現される。従って、個々の“プラン”の表現はシステムの具体的な応用分野に依存して決まるものである。

図3-aに、対話モデルの概念を示す。

3-2. 具体例

図3-bは、車の販売促進システムという応用例を考えた際の対話モデルの一例である。ここでいう販売促進システムとは、積極的にユーザに働きかけ、ユーザが何を希望するかを明確化させ、買わせようとするシステムである。

4. 対話管理機能

3. で述べた対話モデルに基づき、IDSでは知的対話機能を実現する。これは主として対話管理モジュール内の対話管理ユニットにより提供される。

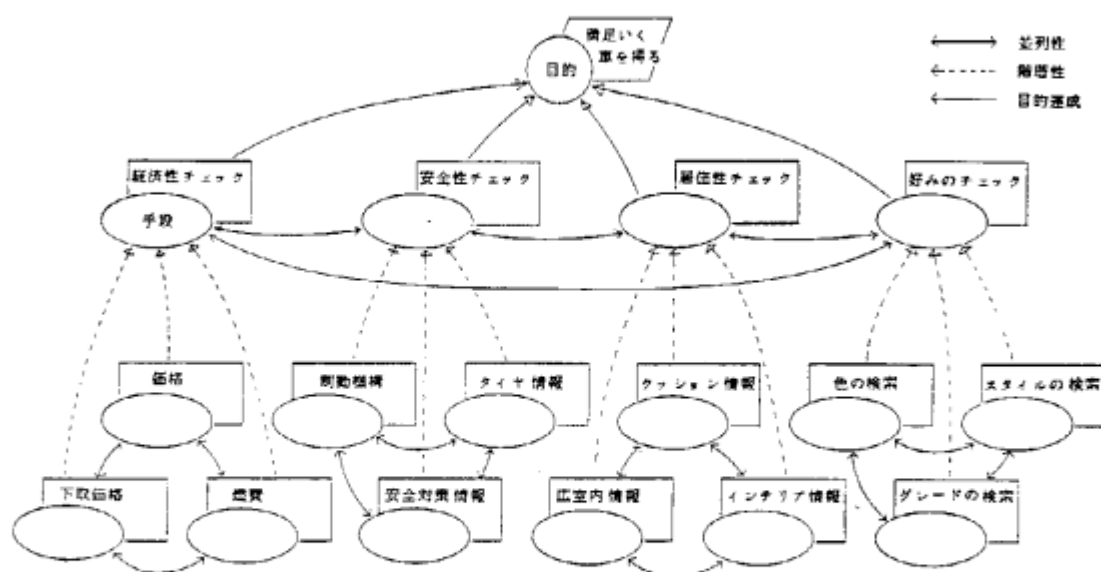


図 3 - b . 対話モデルの例
(車の販売促進システム)

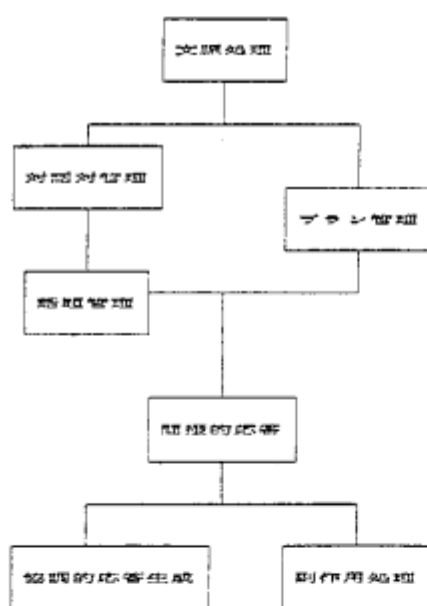


図 4 . 対話管理ユニットの内部構成

4 - 1 . 対話管理ユニットの構成と基本処理フロー

図 4 に、対話管理ユニットの構成を、図 5 に、その基本処理フローを示す。

単一化ユニットから送られてきた内部表現形式は、文脈処理を施した後、対話対管理に渡される。対話対管理では、それに基づいて、現在の対話対(1.5)の状態を確認する。話題管理では、内部表現形式からの話題の抽出と、その結果に基づいた話題の展開の追跡や応答の予測を行う。話題管理での処理結果を受けて、プラン認識ではユーザプランの認識が行われ、ゴール認識ではプランの背景にあるゴール

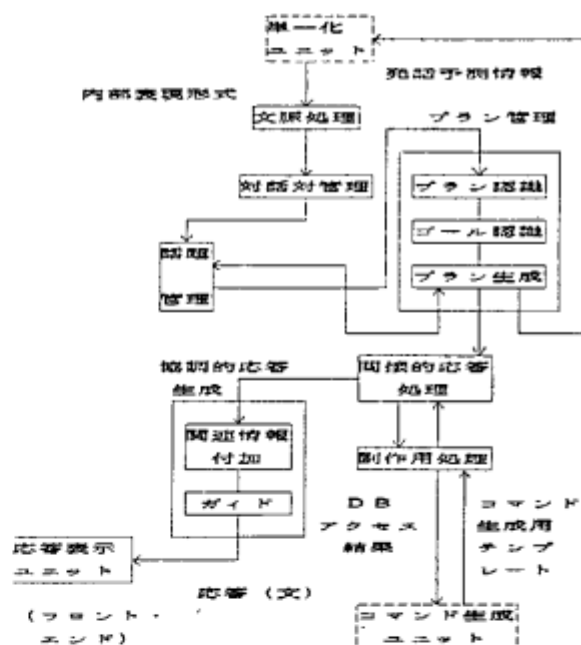


図 5 . 対話管理ユニットの
基本処理フロー

ルの認識が行われ、さらには、プラン生成において、ユーザの次の行動に対する予測情報を含んだダイナミック・プランが生成される。話題管理とプラン管理とは特に密接な関係にあり、プランに対する一連の処理の結果は、話題管理にも活用される。間接的応答処理では、ユーザの発話(応答)に間接的な意味が含まれていると判定した場合の処理を施す。副作用処理では、分野依存の特殊な解釈や文脈から明らかな条件等をそこまでの処理結果に付加し、コマンド生成用テンプレートを作成する。関係情報付加では、

データベースの検索結果に、その解釈を助ける関連情報を付加し、ガイドではユーザの次の行動を促すガイド文を生成して、ユーザのゴール達成に協調的な応答を提供する。

4-2. 対話管理用知識

対話管理ユニットで使用する知識には、静的なものと動的なものがある。前者は知識ベース、後者は、短期記憶に置かれる(図2参照)。

4-2-1. 知識ベース

知識ベースの具体的な内容は次の通りである。

(1) 対話対情報

動詞の使われ方の分類を示す文の属性の対の集合体であり、対話管理において使用される。各要素は、典型的かつ模範的な発話と応答の対に相当する、文の属性の対を表現している。以下にその一例を示す。

(例) pair (検索要求, 検索結果)。

ユーザからの
発話文の属性 システムからの
応答の属性

(2) システムプラン

システムプランとは、対話モデルに基づいて、応用別にあらかじめシステム側に用意された静的プランであり、図6-aに示す構造を成している。

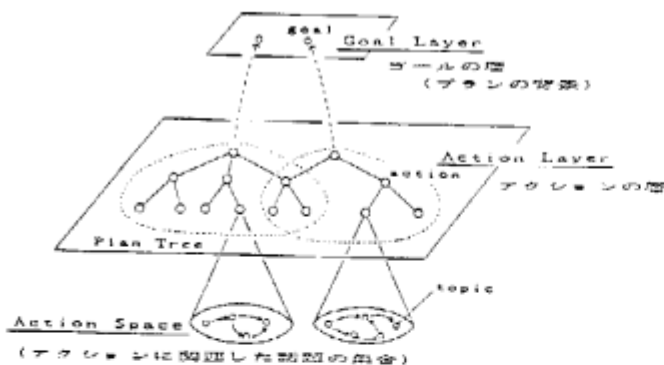


図6-a. システムプランの構造

ゴールの層には、ユーザがシステムに抱く使用目的が位置し、アクションの層では、そのゴールを達成するための各々のアクションがその抽象度に応じた上下関係からPlan Treeと呼ぶ階層構造を形成している。Plan Treeの最上位に位置するアクションは、その背景となるゴールへのリンクを持つ。そして、アクションにはAction Spaceと呼ぶ一種の記憶空間が付随しており、そこにはそのアクションに関連した幾種類かの“話題(topic)”が属している。“話題”とは、そのアクションに関する対話において話題に登る事柄及び、それを話題とした発話行為を意味している。

各アクションには、

- ・アクションが起動するにあたっての前提条件
- ・アクションが終了したか否かの判定基準となる終了条件
- ・Action Space
- ・アクションの区別・認識に利用する一種のキー・ワードであるAction Word
- ・関連データベース情報

等の情報群が付随している。

アクション間には通常、順序関係があり、これは、各アクションの前提条件に依って決まる。

また、各終了条件には、それと関連した話題へのリンクが含まれている。これを介して、条件の満たされ具合が話題間の順序関係に影響を及ぼす。話題間の順序関係は、信念(B)の状態を反映する。即ち、どこまでの情報を持っていればどの話題は取り上げられないとか、どの話題から始まる、といったことが話題間の順序関係から認識される。なお、話題にも順序関係を反映した前提条件が存在する。これら順序関係や、前提条件に関する情報はAction Spaceの中に記述される。

図6-bは、図3-bで示した対話モデルに対応したシステムプランの一部を示したものである。このシステムプランでは、“話題”を「それに対してシステムが何らかの反応及び副作用を起こす発話行為」に限定している。



図6-b. システムプランの一部

(3) 分野依存の専門知識

対象分野固有の知識で、対話よりもむしろ対象分野における問題解決に重要な役割を持つ。

- ・属性間や属性値間の因果関係

(例) 車の選定における様々なファクター (因子) 間の関係。グレード対価格の相関関係等

- ・話題抽出ルール (後述) に対する情報

分野依存の特別な処理や解釈が必要な場合に、それらの内容について、話題抽出ルールに対し付加される情報

(4) 対話に関する一般知識

マンマシン間で交わされる目的指向型の対話における一般知識であり、主にアルゴリズム的な知識である。

・プランニング・アルゴリズム

プラン生成で、ダイナミック・プラン生成の際に使用される基本アルゴリズム

・マッチング・アルゴリズム

プラン認識で、システムプラン対ユーザプラン、ダイナミック・プラン対ユーザプランの照合の際に使用されるアルゴリズムで、アクションやプランの実行状況の判定アルゴリズムも含んでいる

・話題抽出ルール

内部表現形式から話題を抽出するためのルール。

内部表現形式は、

・文の属性

・使用されている単語

からなり、その構造は文の属性に依存する。

(例) 内部表現形式

[希望, X, [[c1, =, v1],
[c2, =, v2]]]

[X, c1, c2, v1, v2]



話題

[[指定, c1, v1], [指定, c2, v2]]

(5) deep knowledge (深い知識)

deep knowledgeとは、

「いくつかの分野では常識となっていて、普段あまり意識することなく使っているが、それが無いとうまく問題解決が出来ない知識」

と定義し、本システムでは以下の知識を用意し使用する。

・プランニング知識

ゴールやアクションの達成に障害となる現象が発生した際に、それを解決したり、回避するように、プランを立て直すために必要な知識（これをメタ・プラン知識と呼ぶ）がこれに含まれる。

・副作用処理知識

その影響が副作用として出てくる、分野固有の意味を持つ単語（主に日常単語）と、分野固有の、話題対話題や、アクション対アクションの因果関係等、システムプランにおける前提条件や終了条件で表現できない特異な知識がこれに含まれる。

(例) 女性 → 非力 → パワ・ステ
→ 運転が苦手 → オートマ
(副作用)

4-2-2. 短期記憶

短期記憶には対話管理ユニットにおける処理中に動的に生成される知識がおさめられている。具体的な内容は次の通りである。

(1) 内部表現形式の履歴

文脈処理後の内部表現形式を専用のスタック（内部表現スタック）に蓄積する。これらは、以後の入力文に対する文脈処理（主に代名詞の同定、省略部の補足）や話題管理の場面で活用される。

(2) 対話対の履歴

対話対管理において、入力文である内部表現形式に対応させて、知識ベースの対話対情報から抽出した対話対を専用スタック（対話対スタック）に格納する。これは、以後の入力文の処理における対話対管理の場面で、対話対が閉じているか否かの判定に活用される。

(3) ユーザプラン

ユーザの行ったアクションの軌跡をシステムプランに対応した木構造で保存した文脈情報（履歴情報）の一種である。各アクションには、今までの話題を納めたAction Spaceや、そのアクションの実行状況が付随している。この木構造は対話の進展に伴って成長する。ユーザプランは、プラン認識の場面で参照・更新され、プラン生成の場面でも参照される。

(4) ダイナミック・プラン

プラン生成の場面で、システムプラン、ユーザプラン、そしてメタ・プラン知識に基づいて生成される、ユーザの次の行動に関する予測情報や、対話の進行に障害が発生した場合のその解決プランが含まれた一時的な情報である。プラン認識の場面で参照され、次のプラン生成の場面で更新される。

(5) 副作用情報

副作用処理における情報源の一つで、ユーザの発話内に分野固有の特別解釈が必要な用語が含まれていた場合や、文脈から前提条件と判断される情報が存在した場合に、それらを一時的に格納しておく。

4-3. 機能別処理内容

4-3-1. 文脈処理

内部表現形式における代名詞、省略、接続詞の存在を確認し、存在した場合には短期記憶における文脈情報（以前の内部表現形式）に基づいて、それぞれの処理を施す(1)。

なお文脈処理は、単一化ユニットで内部表現形式を作成する際にもおこなわれ、発話予測情報をもとに、代名詞、省略等の推定が行われる。対話管理ユニット内の文脈処理は、その後、さらに代名詞、省略等が残った時に行われる。

4-3-2. 対話対管理

対話対を管理することによって、対話のスムーズな進行と一貫性の保持を目指した機能である[1]。

文脈処理を施した内部表現形式を短期記憶の対話対の履歴や知識ベースの対話対情報に照らし合わせ、対話対の状態を確認することにより、

- ・システムからの問い合わせに対し、ユーザが機能的な応答を返しているかの判定
 - ・ユーザからの発話でシステムのどんな応答を期待しているかの予測
- を実現する。

また、対話対の状態は、以後で述べる話題管理や間接的応答処理において、判定基準の1つとしても活用される。

4-3-3. 話題管理

話題管理は、文脈処理結果の内部表現形式、対話対管理での判定結果、知識ベースに納められている話題抽出ルール、それにプラン生成（後述）において生成されたダイナミック・プランに基づいて、

- ・現在注目している話題
- ・それと以前の発話内容との関連

を認識すると共に、今後の話題の展開を予測する。また、話題転換[1]が発生した（と認識された）場合には、それに対する処理を実施する。

話題管理の処理は、以下の2つのフェーズに分けられる。

まず、第1フェーズでは、内部表現形式に話題抽出ルールを適用し、そこに含まれている話題を抽出する。次に、その抽出された話題、対話対の状態、ダイナミック・プランを照らし合わせ、話題転換の発生を確認する。

第1フェーズの終了後、制御はプラン認識（後述）へ移り、抽出された話題に基づいたプラン認識が行われる。

第2フェーズはプラン生成から呼び出され、そこでの結果（ユーザプランと新たなダイナミック・プラン）を基に、以後の話題の展開を予測する。また、既に、話題転換が発生していた場合の、以前の話題へ復帰するか否かの判定や復帰処理もここで実施される。

以上の処理の結果、構文情報に話題の流れや発話の目的といった意味的情報を付加した形の、より高次元からの対話対の管理が実現できる。＜対話例1＞は、構文的な情報だけでは対話対は不成立と判定されるのに対し、話題の流れや発話の目的に注目すると対話対が入れ子構造で成立している（閉じている）場合を示したものである。また、図7は、話題抽出過程を図示したものである。

対話対管理と話題管理では、その副作用として、システムからの発話に対して予想されるユーザからの応答に関連した構文情報と、現在の話題に関連した事柄や概念を示す単語群を、予測情報として出力する。これは、単一化ユニットへの発話予測情報の一部となる。

＜対話例1＞

U: XXXの2Dア・ハードトップが欲しい

S: 分りました

何色が好みですか？

U: 何色がありますか？

S: レッド、ホワイト、ブルーが

標準装備されています

U: ブルーにします

U: ユーザ

S: システム

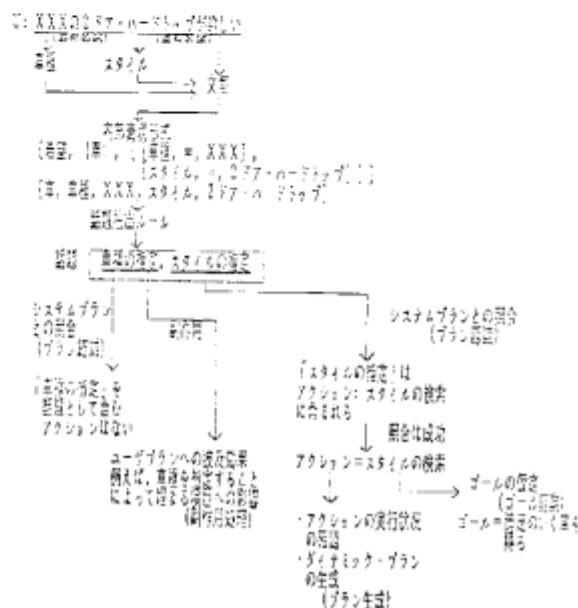


図7. 話題抽出過程

4-3-4. プラン認識

プラン認識では、話題管理の第1フェーズでの結果を受け、まず、抽出された話題を含むアクションをAction Wordを基にシステムプランより検出し、そこまでのユーザの発話履歴に相当するユーザプランの更新が行われる。次に、そのユーザプランをシステムプランに照合させ、

- ・ユーザがどのプランに従っているか
- ・現在、プランのどこに位置しているか
- ・どの程度、プランが進行しているか

を認識する。

ユーザプランとシステムプランの照合は、各々のアクションの実行状況を確認しながら、プランを構成している木構造 (Plan Tree) を下位から上位へさかのぼる形で実施される。アクションの実行状況は、システムプランのアクション記述に含まれている終了条件と現状との比較によって判定される。

更新されたユーザプランは、アクションの軌跡とそれらアクションの実行状況を示している。

図8は、＜対話例1＞に対応したダイナミック・プランの変化を図示したものである。

4-3-5. ゴール認識

応用システムが多目的に使用される場合には、ユーザがどの目的でシステムを使用しているかを認識することは重要である。また、一般にゴールとそのプランは1対多対応の関係にあるため、あるプランが途中で中断し、他のプランへ移行しても、それらのプランが同一のゴールを背景に持つこともある。

ゴール認識は、プラン認識で照合に成功したシステムプランの最上位に位置するアクションが持つゴールへのリンクをたどることによって、現在のゴールを検出し、対話の進行に伴ったゴールの推移を管理する。

4-3-6. プラン生成

ユーザプランから、ユーザが次にとるアクションや次に登場する話題の予測に必要な情報を含んだダイナミック・プランを生成する。また、プラン認識においてアクションの実行に障害があることが認識されていれば、その障害を克服、回避するためのプランが、知識ベースに納められているメタ・プラン知識に基づいて生成される。

ダイナミック・プランと話題管理（第2フェーズ）より送られてくる話題に関する予測情報から、単一化ユニットへの発話予測情報を作成する。

<対話例2>は、ダイナミック・プランに基づいた応答をシステムが返してくる場面を示したものである。車種、スタイルの指定の後に、「車の色」をたずねているのは、「スタイルの指定」というアクションが終了したことを認識し、次のアクションとして「色の検索」を予測した結果発生した問い合わせである。さらに、「明るい色」という

表現から、「ユーザは何色があるのか明確には知らない」という、「色を指定する」という行動に対する障害を認識し、それを克服するためのプランを立て、それに基づいて色に関する説明を行っている。このように話題やアクションの前提条件が満たされていない場合は、障害として認識される。

<対話例2>
U: XXXの2ドア・ハードトップが欲しい
S: 分かりました
U: 色がお好みですか?
U: 明るい色がいいです
S: レッドからホワイトはどうですか?
U: レッドにします

<対話例3>
S: 車種はあなたがなさるのですか?
U: 二人です
S: 若主人がなさるのですか
では…

4-3-7. 間接的応答処理

人間どうしによる対話においては、相手の問い合わせに対し直接その問いに応えなくて間接的にその問いに対する返答を含んだ発話を行ったり、逆に一見その問いに対する返答の形式は整えているものの、意味的には異なった意図を含んだ発話を行う事がある。これは、いわゆるSpeech Actであり、<対話例3>が前者、<対話例2>が後者の例に相当する。

間接的応答処理では、前述の話題管理やプラン管理での処理結果に従い、間接的応答に対する具体的な処理を行う。例えば、<対話例2>の場合、プラン生成で（障害克服のため）立案されたプランに従って、「色に関する説明要求」

「XXXの2ドア・ハードトップが欲しい」の処理後のプラン構造

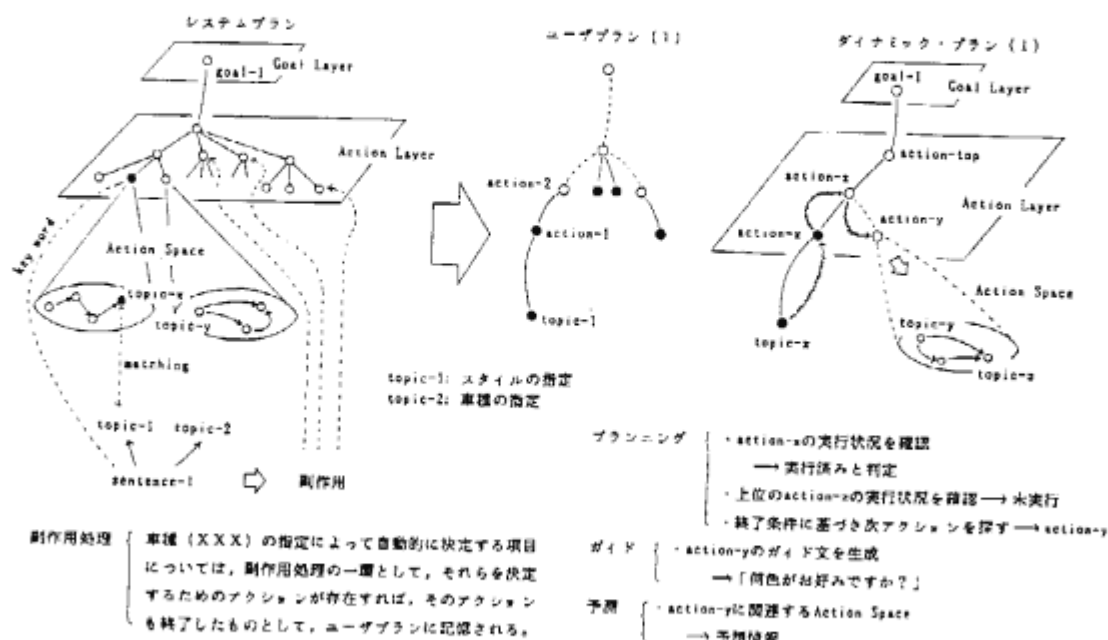


図8 ダイナミックプラン

を実際に発生し、以後の処理に送っている。

4-3-8. 副作用処理

- ・分野固有の特別な解釈が必要な用語が使われているか
- ・前提条件となるものが存在しているか(しぼり込みの有無)

を、内部表現形式、副作用情報、deep knowledgeに基づいて判定する。存在した場合、それらの情報をコマンド生成用テンプレートに付加してコマンド生成ユニットに送る。

4-3-9. 関連情報付加とガイド

データベースの検索結果に、その解釈を助ける関連情報を付加する。ここでは、文脈やプラン情報(実行状況や予測情報)から、必要と判断された関連情報が付加される。

また、プラン生成をはじめとする、前述の対話管理機能から送られてくる指示に従って、ユーザへのガイド文を生成する。指示が無かった場合は、データベースの検索結果を送る。

5. おわりに

以上、IDSの概要およびIDSにおける知的対話管理機能について述べた。IDSは現在、機能設計が終了した段階であり、今後は、各アルゴリズムや機能の詳細を設計し、車の販売促進システムを例として、実装する予定である。

なお、本研究は、第5世代コンピュータプロジェクトの一環として行われているものである。

参考文献

- [1] 宮地, 他: 話頭管理機能を持つ対話システムの試作, 情報処理学会, 知識工学と人工知能研究会38-7, 1985
- [2] Allen, J.F. and Perrault, C.R.: Analyzing Intention in Utterances, A I 15, 143-178, 1980
- [3] Kaplan, S.J.: Cooperative Responses from a Portable Natural Language Database Query System, Computational Models of Discourse, The MIT Press, 107-166, 1983
- [4] 西田豊明: 対話の計算機モデル(サーベイ), 「対話行動の認知科学的研究」研究会, 1984
- [5] 山梨正明: 対話理解の基本的側面, 同上
- [6] Grosz, B.J.: The Representation and Use of Focus in a System for Understanding Dialogs, Proc. I J C A I 77, 67-76, 1977
- [7] Sidner, C.L.: Focusing and Discourse, Discourse Processes, 6, 107-130, 1983
- [8] Grosz, B.J. and Sidner, C.L.: Discourse Structure and the Proper Treatment of Interruptions, Proc. I J C A I 85, 832-839, 1985

- [9] Joshi, A.K.: Mutual Beliefs in Question Answering Systems, in Smith, N(Edt.), Mutual Belief, Academic Press, 1982
- [10] Grice, H.P.: Logic and Conversation, in Cole, P. and Morgan, J.L. (Edt.), Syntax and Semantics III, Academic Press, 1975
- [11] Searle, J.R.: Speech Acts, Cambridge University Press, 1977
- [12] Norman, D.A. (Edt.): Perspectives on Cognitive Science, Ablex Publishing Corp. and Lawrence Erlbaum Associates, 1981
- [13] Schank, R.C. and Abelson, R.: Scripts Plans Goals and Understanding, Lawrence Erlbaum Associates, 1977
- [14] 井脇原均, 石崎俊: 文脈解析用意味表現 I-MOP の構造と機能, 情報処理学会第2回自然言語処理技術シンポジウム, 1984
- [15] Schank, R.C.: Rules and Topics in Conversation, Cognitive Science, 1977, 2, 421-441
- [16] Reichman, R.: Conversational Coherency, Cognitive Science, 1978, 2, 283-326
- [17] Reichman, R.: Extended Person-Machine Interface, A I 22, 157-218, 1984
- [18] Sacerdoti, E.D.: A Structure for Plans and Behavior, Elsevier, 1977
- [19] Appelt, D.E.: Planning English Reference Expressions, A I 26, 1-33, 1985
- [20] Wilensky, R.: Meta-Planning: Representing and Using Knowledge About Planning in Problem Solving and Natural Language Understanding, Cognitive Science, 5, 197-233, 1981