

イメージ情報を利用した機械動作説明文の理解

正員 伊藤 元之^{†*} 正員 久保 晋^{†**} 正員 伊東 幸宏[†]

Text Understanding Using a Two Dimensional Spatial Imagery

Motoyuki ITOH^{†*}, Shin KUBO^{†**} and Yukihiro ITOH[†], Members

あらまし 本論文では、記号的表現のみではなくイメージ的にも情報を保持し得る対象世界モデルを利用して機械動作説明文を理解するシステムの枠組みについて述べる。機械動作説明文の理解では、空間的情報が重要であり、それを、特定の着目点に依存せずに、かつ、連続性や位置関係を自然に反映した形で保持し得るモデルが必要になる。従来の言語理解システムで用いている記号的知識表現だけでは、それらを十分に表現できない。そこで本論文では、イメージ的表現の有効性を考察し、2次元実数座標系の数式を用いて部分的にイメージの性質を利用し得るイメージ的対象世界モデルを提案する。また、そのモデル上でシミュレーションを行う機構、その機構を用いつつ文章を読み取る機構について検討する。それに基づいて試作したシステムは、シミュレーションや記号的認識表現の生成などを行いつつ入力文のモデルを構築する。これらの機能により、同一の現象を異なった着目点から言語化した表現の同一性や類似性を、適切に判定することができる。

キーワード 自然言語理解, イメージ, シミュレーション, 対象世界モデル

1. ま え が き

本論文では、2次元図形イメージ的対象世界モデルを利用して中学技術の教科書の機械機構動作説明文を理解する枠組みについて検討を行う。

従来の言語理解システムの多くは知識表現として記号表現を用いている。しかし、そのことにより、事象間の適正なマッチングができないことがある、必要な知識の数が爆発しやすい、などの問題がしばしば生じる。

認知心理学の分野では、Kosslynが70~80年代の一連の論文で、言語理解におけるイメージの役割や重要性、記号とイメージの関係等、示唆に富んだ議論を展開している⁽¹⁾。これらの議論^{(1),(2)}はAI研究者の関心も引き、Narayananの物体同士の衝突等の干渉現象を推論する枠組みの検討⁽³⁾、BarwiseのHyper-Proof⁽⁴⁾など、計算機モデルにイメージを利用しようとする研究がいくつか行われている^{(3)~(8)}。しかし、文章理解におけるイメージ情報の取扱い方について検討した研究は

ほとんど行われていない。

そこで本論文では、まず、記号表現の本質的問題点を考察し、その解決のために、2次元実数座標系上の不等式集合で物体を表現するイメージ的表現を対象世界モデル表現に導入する。更に、そのモデルに対する基本操作を検討し、中学技術教科書の機械機構の動作説明文を理解するシステムを試作して、文章理解におけるイメージ的情報の重要性・有効性を確認する。

2. 対象世界モデルの表現

2.1 対象とする問題の規定

本論文で取り扱う問題を以下のように限定する。

文脈理解に相当する制御を簡単にするため、教科書の説明的文章を理解対象とする(4.2参照)。

文章の説明内容として、機械機構の構造や動作を考える。それらの説明文の理解プロセスには、図面から得られるイメージ的情報が多分に関与していると考えられ、本論文の検討対象として適切である。

教科書^{(10)~(12)}は、基本機械要素として、歯車、ベルト、ねじ、軸受け、ばね、リンク、カムの七つを取り上げ、それらを利用した機械として、ミシン、自転車、エンジン、歩行ロボット等の仕組みが説明されている。本論文では、簡単な2次元イメージ情報に限定して議

† 静岡大学工学部情報知識工学科, 浜松市
Faculty of Engineering, Shizuoka University, Hamamatsu-shi, 432
Japan

* 現在, (株)CSK

** 現在, 日本電信電話株式会社

表1 接合形態

接合タイプ	定義
A. 相対固定	接統部品同士が相対運動を許さない接合 接統部品同士が接合部の中心軸を中心に互 いに回転のみ可能な接合 筒状の物体両者の相対運動として筒の中心 軸に沿った動きのみが許される接合
B. 軸受け	
C. 内包円滑面接触	

表2 取り扱う語

品詞	糸田 分類 (括弧内は例)
名詞	<ul style="list-style-type: none"> 物体を指すもの (ピストン, 部分) 属性を指すもの (距離, 周期) 値を指すもの 位置・領域を指すもの (場所, 範囲) 時間を指すもの (時, 間) 変化を引き起こす要因を抽象的実体と捉えたもの (力, 慣性作用) 変化を指すもの (上昇, 回転) 抽象的に事象を指すもの (こと) ある物体全体を基準として物体の一部を指すもの (上端, 中心) ある物体や領域を基準として別のある領域を指すもの (近く, 上方) ある時間を基準として別のある時間を指すもの (前, 後)
代名詞	<ul style="list-style-type: none"> 疑問代名詞 (どれ) それ以外 (それ)
動詞	<ul style="list-style-type: none"> 存在を表わすもの (ある, 存在する) 位置・距離変化を表わすもの (下がる, 近づく) 物体間の接統を表わすもの (つながる) 力の授受を表わすもの (加える, 与える) 相を表わすもの (始まる, 続ける) 属性の保有を主張するもの (持つ) 抽象的変化を表わすもの (どうなるか) 相を主張するもの (始める, 続ける) 時制を主張するもの (た, れる) 受身を主張するもの (れる, られる) 使役定を主張するもの (せる, す) 否定を主張するもの (ない)
助動詞	<ul style="list-style-type: none"> 疑問を表わすもの (どのように, どう) それ以外 (やがて, 再び)
副詞	<ul style="list-style-type: none"> 属性を主張するもの (長い) 属性を主張するもの (大きい) 疑問を表わすもの (どの) 他の概念を指示するもの (この, その) それ以外 (同じ)
連体形容詞	
終止形容詞	
連体詞	
助詞	<ul style="list-style-type: none"> 格助詞 (が, を) 接続助詞 (と, て, ので) 疑問の終助詞 (か)
連体助詞	(の)

表3 取り扱う連体修飾のタイプ

A. 物体を指す名詞を修飾するもの
a1. 存在位置を言及するタイプ
関係節: 「シリンダの中にあるピストン」
a2. 位置変化に言及するタイプ
関係節: 「上昇しきったピストン」
a3. 接続に言及するタイプ
関係節: 「ロッドに接続している部品」
連体助詞句: 「AとBとの接続部分」
B. 位置や領域を指す名詞を修飾するもの
b1. 位置や領域を特定する位置変化に言及するもの
関係節: 「ピストンが動く範囲」
C. 属性を指す名詞を修飾するもの
c1. 値に言及するタイプ
関係節: 「クランクの回転と同じ周期」
D. 変化を引き起こす抽象実体を指す名詞を修飾するもの
d1. 属性値に言及するタイプ
連体助詞句: 「下向きの力」
E. 変化を指す名詞を修飾するもの
e1. 変化の主体に言及するタイプ
連体助詞句: 「クランクの回転」
e2. 属性値に言及するタイプ
連体助詞句: 「右向き回転」
F. 抽象的事象を指す名詞を修飾するもの
f1. 事象の内容に言及するタイプ
名詞節: 「ピストンが下がること」
G. 物体全体を基準の一部を指す名詞を修飾するもの
g1. 全体物体に言及するタイプ
連体助詞句: 「シリンダの上端」
H. 物体や領域を基準に領域を指す名詞を修飾するもの
h1. 基準物体や領域に言及するタイプ
連体助詞句: 「シリンダの内部」
I. 事象や時間を基準に時間を指す名詞を修飾するもの
i1. 基準となる事象や時間に言及するタイプ
関係節: 「ピストンが上がりきる前」

する以下の6タイプを検討対象とする。

- (TYPE 1) 物体の(ある位置での)存在を主張するもの。
- (TYPE 2) 物体の動き(位置変化)を主張するもの。
- (TYPE 3) 空間の距離・広さや、位置変化に関する属性(方向, 周期等)の値, 物体の外観的属性(大きさ, 厚み等)の値を主張するもの。
- (TYPE 4) 属性(TYPE 3で挙げた範囲の属性)の値の変化を主張するもの。
- (TYPE 5) 物体同士の接合を主張するもの。
- (TYPE 6) 力の授受を主張するもの。

教科書から以上の制約を満たす文のみを抽出して、機構の構造や動きを一通り説明し得る文章を編集して処理対象とする。5.に例を示すように、TYPE 1-6の文で機構の構造と動きを一通り説明する文章を構成できる。以下の章での検討は、教科書^{(10)~(12)}、参考書^{(13)~(19)}から上述の条件を満たす文を抽出して調査した結果に基づいている。なお、具体的議論は4サイクルエンジンの動作について述べた文を題材として進める。

語い・連体/連用修飾は、上述のタイプの文に現れるものに限って取り扱う(表2および表3, 表4参照)。

論するため、3次元構造が問題となるもの、形状が安定していない機械要素は除外し、次の条件を満たす機械機構を対象とする。

- ① 剛体部品のみから構成されている。
- ② 部品同士は表1に挙げた形態で接合し合う。
- ③ 機構の動作の仕組みを理解するために必要な図的情報は、2次元断面図程度で十分に表現できる。
- ④ 2次元断面図における各部品の形状は、線分や円弧の組合せで表すことができる。

具体的には、リンク, カム, 軸受けと、それらをもとに組み立てられている機械を取り扱う。

文内容のタイプとしては、機械の構造・動作を説明

表4 取り扱う連用修飾のタイプ

A. 存在を表す動詞を修飾するもの	存在の主体や位置に言及する格助詞句
B. 位置・距離変化を表す動詞を修飾するもの	その変化の主体や属性に言及する格助詞句
C. 接続を表す動詞を修飾するもの	接続に関わる物体に言及する格助詞句
D. 相を表す動詞を修飾するもの	その相を持つ変化に言及する格助詞句
E. 属性の保有を主張する述語を修飾するもの	その属性に言及する格助詞句
F. 述語一般を修飾するもの	事物間の時間的順序・因果関係に言及する接続助詞句

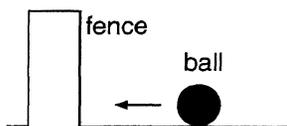


図1 ボールの動き
Fig. 1 Movement of a ball.

2.2 2次元図形イメージの対象世界モデル

(1) 問題点の整理

我々は、記号的知識表現には二つの大きな問題点があると考えている。第1は着目点依存性の問題である。記号的表現を用いると、同一の事物でも、知識記述者の立場や着目点により、記号的に全く異なった形式で記述される可能性がある。例えば図1のような現象は、

MOVE(ボール, 壁) (1)
DECREASE(DISTANCE(ボール, 壁)) (2)

のように複数の方法で記述できる。同一事物を表す異なった表現を認めると、事物間の同一性の判定のためのルールを与えざるを得なくなる。多くの知的システムにおいて生じる知識の記述量の爆発の問題の一端は、この記号的表現の着目点依存性にあると考えられる。

第2に、記号的表現は本質的に離散的表現であるため、連続的な変化や物体の存在領域の空間的連続性・物体同士の位置関係を十分に表現することができない。

これらの問題を打開するためには、次の二つの条件を満たす表現を導入する必要がある。

(I) 着目点や立場によらずに情報を保持でき、さまざまな角度から自由に情報を引き出せること。

(II) 物体の占有領域・物体間の配置関係など、物体のなす空間的構造や、時間的に連続な変化を自然に表現できること。

(2) 条件の具体化と表現方法の検討

これらの条件を、教科書の機械機構動作説明文理解

に必要となる対象世界モデルの表現に対する条件として、より具体的にとらえ直してみる。2.1で限定した検討範囲内の文を分析すると、その中に現れる着目点の違いは、次の6タイプに整理できる。

(a) 観測の基準(視点)の違い

例:「ピストンはシリンダの内部にある」

⇔「ピストンはクランク軸の真上にある」

(b) 主体のとらえ方の違い

例:「ピストンはクランク軸の真上にある」

⇔「クランク軸はピストンの真下にある」

「スライダを溝にはさんだまま連接棒が動く」

⇔「スライダが連接棒の溝に沿って動く」

(c) 位置関係の変化ととらえるか、位置変化ととらえるか

例:「ピストンがシリンダの上端に近づく」

⇔「ピストンが上昇する」

(d) 位置変化ととらえるか、距離の変化ととらえるか

例:「ピストンが下に動く」

⇔「ピストンとクランク軸の距離が縮まる」

(e) 時間的粒度の違い

例:「ピストンは下降した後、再び上昇する」

⇔「ピストンは上下動する」

(f) 連続変化に対する着目区間の違い

例:「ピストンは上昇する」

⇔「ピストンが上がりきる」

従って、本論文の範囲で着目点依存性の問題を解決するためには、この(a)~(f)の違いを吸収可能な表現を考えればよい。このことを考慮して、(I), (II)に相当する条件を、空間、時間の二つの側面から考える。

空間的側面に関係した着目点の違いは(a)~(d)である。(a)は任意の物体の任意の基準に対する位置関係が表現されていれば問題ない。(b)に対処するためには、任意の物体間の位置関係が、各物体に主体、基準等の役割を付与せずに均一に表現され、またその条件を満たしたままで時間的変化が表現できることが必要である。(c)に対しては、ある物体の位置に関する記述が変われば同時にその物体と他の任意の点との位置関係に関する記述が変更されるような表現が必要である。例えば、任意の2点間の位置関係(方向や距離)が、その2点の位置の記述によって暗黙的に表現され、任意の物体の任意の時刻における位置がすべて表現されていればよい(これは(b)の条件も満たす)。(d)は、位置関係から距離が算出できれば対処可能である。また、(II)

に関しては、本論文で取り扱う対象が2次元的に表された物体群なので、2次元空間の連続的広がりを表現し得る表現があればよい。

時間的側面については、(b)~(f)が関連をもつが、(b)~(d)については上述の検討で十分である。(e)、(f)の着目点の違いを吸収するには、時間的変化が、問題となっている対象領域で実際に行われる時間的粒度でのとらえ直しや部分的着目を可能にする程度の稠密さで、擬似連続的に表現されていければよい。本論文で問題とする連続的変化は、2次元空間内の物体の位置変化や空間的属性変化の範囲に限定されるので、物体の位置や空間的属性が連続的に表現できればよい。

以上より、条件(I)、(II)は、本論文の範囲では、以下の2条件としてとらえ直すことができる。

(III) 物体の存在位置が均一に表現でき、任意の物体同士の相対的位置関係が物体の位置に関する記述によって暗黙的に表現されること。物体の占有領域や物体同士の配置関係が正しく反映されるような形式で2次元空間の連続性が表現されること。

(IV) 任意の物体の位置や属性が、近似的なレベルで、時間的に連続して表現できること。

条件(III)を満たすためには、あらゆる位置間の相対的

位置関係があらかじめ定義しつくされているような表現媒体(体系)を導入してやればよい。座標空間は、座標値によって各位置同士の関係が定められており、その条件を満たしている(本論文の範囲内では2次元座標平面を考えればよい)。更に実数座標平面を用いれば、空間的連続性を十分保つことができる。条件(IV)は、上述の空間表現を微小時間単位に記述することで対処できる。これによって時間的変化を、擬似的ではあるが、実際上問題がない程度に連続的に表現できる。

(3) 対象世界モデルの表現形式

以上より、本論文では以下のような対象世界モデル表現を考える(図2)。2次元空間を2次元実数座標系で表現する。時間軸は時刻を表すタイムマークのリストで表す。タイムマークは微小時間間隔に用意する。物体は物体フレームで表す(表5)。その物体が存在する領域を示すため、物体フレームに、2次元実数座標系上の該当する領域を表す不等式集合を記入するスロットを用意し、また、その物体の配置の仕方が与えられると、その物体の存在領域を表す不等式集合を生成する手続きをもたせておく。命題的認識は事象命題フレー

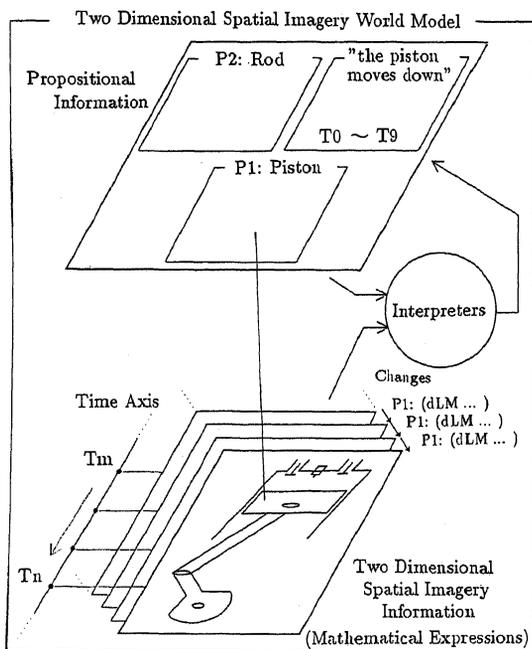


図2 2次元図形イメージ的对象世界モデル

Fig. 2 Two dimensional spatial imagery world model.

表5 物体フレーム

スロット	内容
concept	この物体を表す概念シンボル
whole	この物体を部分を持つ物体のフレームシンボル
part	部分にあたる物体のフレームシンボルのリスト
portion	部位にあたる物体のフレームシンボルのリスト
attribute	属性シンボルと属性値のリストのリスト
connection	接合を表す事象命題フレームとその接合相手物体のフレームシンボルとそのリストのリスト
figurative_information	この物体の占有領域を示す不等式集合表現と描画手続き名のリスト

表6 事象命題フレーム

スロット	内容
proposition	この事象を表現する記号表現
time	生起時刻と終了時刻のタイムマークのリスト
interpreter	記号表現生成機構シンボル
raw_data	この事象命題生成のもとになったモデル要素のリスト

表7 微小変化を表現する述語

述語	表現する変化と変化の記述法
d C M	部位が、その部位外のある点(拘束点)からの距離を一定に保ちながら行う微小位置変化 記述法:(dCM 位置変化方向 ふれ角 拘束点)
d R M	物体内のある点(拘束点)の位置を不動に保ちながら、物体全体としては配置を変化させるような物体の微小位置変化 記述法:(dRM 配置変化方向 ふれ角 拘束点)
d L M	それ以外の微小時間内の位置変化 記述法:(dLM 位置変化方向 移動量)
d A T	微小時間内の属性値の変化 記述法:(dAT 属性 変化量)

ムで表す(表6)。微小時間内の変化は、表7に示す微小変化を表す述語を主内容としたフレーム(微小変化フレーム)を用いて表す。

3. 対象世界モデルの操作

3.1 微小時間単位のシミュレーション

(1) 必要性

『ピストンが下がるとクランクが回る』という文を記号的表現に基づく枠組みで‘理解’しようとする場合、ルールを用い『ピストンが下がる』、『クランクが回る』という命題の一方から他方が導出できることを確認するのが一般的である。しかし、両者の命題間の因果関係には、ピストンやロッド等のエンジン各 부품の接合や配置の仕方など、記号的には記述しにくい事物が深く関与し、記号的ルールとして表現することが難しい。空間的事物や時間的な連続変化に頻繁に言及する文章の理解では、空間の情報や連続的变化を適切な形で保持し得る対象世界モデル上で文内容を整理していくことが不可欠である。そのような対象世界モデルの構築には、文で言われたり前提として与えられた空間的情報を保持しつつ、文で言われた変化を微小時間ごとに再現すること(微小時間シミュレーション:この節では単にシミュレーションと呼ぶ)が必要である。

(2) 方法とその特徴

教科書では、提示した図に合わせて、ある部品が特定の動きをする際、各部品がどう動くかを順次解説し、機械全体の動きを説明している。学生は部品の配置や部品同士の接合の仕方、部品に課されている動きの制約(「シリンダは動かない」等)を把握した上で文章を読むことにより、機械の動作原理を理解している。

そこで、本論文では、個々の部品の存在位置(配置)、部品同士の接合の仕方、部品の動きに関する制約を既知とした上で、ある特定の部品の動きをもとにして、他の部品がどう動くかを決定する能力をもつシミュレーション機構の実現を考える。

なお、部品の動きの制約は、一般に、部品間の接合によって伝えられる。例えば、ある部品と内包円滑面接触をする部品は、接合相手の部品に対して相対的に接合面に沿った平行移動しかできない。従って、絶対的制約をもつ部品を一つ定義すれば、他の部品の制約は接合を介して暗黙的に与えたことになる。そこで、ここでは‘系外’という部品を用意し、そこに絶対的制約を与える。例えば、エンジンの場合‘系外’をシリンダと相対固定接合、クランク軸と軸受け接合する部品

表8 部品全体の動きに基づく部位の動きの推定

全体の動き	部位の動き
方向XへのdLM	方向XへのdLM
Xを拘束点としたdRM	a) Xが部位の内部の場合 Xを拘束点としたdRM b) Xが部位の外部の場合 Xを拘束点としたdCM
Xを拘束点としたdCM	Xを拘束点としたdCM

表9 部位の動きに基づく部品全体の動きの推定

部位の動き	全体の動き
方向XへのdLM	方向XへのdLM
Xを拘束点としたdRM	Xを拘束点としたdRM
Xを拘束点としたdCM	a) Xが部品の内部の場合 Xを拘束点としたdRM b) Xが部品の外部の場合 Xを拘束点としたdCM

表10 接合部で付加される可能性のある動き

接合形態	付加される可能性のある動き
相対固定 軸受け 内包円滑面接触	なし 接合部の中心を拘束点としたdRM 接触面に沿ったdLM

と定義し、移動不能という絶対的制約を与えれば、ピストンがシリンダとの接合面に沿った平行移動しかなし得ないことなどが暗黙的に表現される。

部品が剛体であることを考慮すれば、以下のヒューリスティックスを考えることができる。

H1: 部品全体が動く場合、その部品の各部位は表8に従い全体の動きに応じた動きを行う。

H2: ある部位が動く場合、その部品全体は表9に従いその部位の動きに応じた動きをする。

H3: ある部品の接合部位(部位1)が動く場合、その接合相手の部品側の接合部位は、基本的には、部位1と同じ動きをする。但し、その接合部の接合形態に応じて表10の動きがそれに付加する可能性がある。

そこで、基本的には文章で言及された部品の動きをもとに、接続関係に従ってH1~3を適用して各部品の動きを推定するという方法を考える。しかし、それだけでは、H3で付加される運動のパラメータ(dLMの移動量, dCM/dRMのふれ角)が不確定なため、次第に動きの仮説があいまいになってしまう。

ところが、教科書で取り上げられる機械機構は、明

文章の記述：「ピストンが下がる」

文から変換される命題表現：(continue PISTON (dLM (0 1 0) L1))

微小時間シミュレーション (ステップ1)

パラメータL1にピストンの大きさに応じた初期値を与える。

初期メッセージ：PISTON (dLM (0 1 0) L1)

要求メッセージの伝搬 (正伝搬) (PISTONからSYLINDERへの仮説伝搬は省略。) 【付録I(2)(a)(c)】

PISTON	全体運動仮説	(dLM (0 1 0) L1)	
	RODとの接合部位	(dLM (0 1 0) L1)	
ROD	PISTONとの接合部位	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dRM (0 0 1) R1 軸1) ... (i)	
	全体運動仮説	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dRM (0 0 1) R1 軸1) ... (ii)	
	CRANKとの接合部位	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dCM (0 0 1) R1 軸1) ... (iii)	
CRANK	RODとの接合部位	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dCM (0 0 1) R1 軸1)+可:(dRM (0 0 1) R2 軸2)	
	全体運動仮説	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dCM (0 0 1) R1 軸1)+可:(dRM (0 0 1) R2 軸2)	
	CRANK軸との接合部位	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dCM (0 0 1) R1 軸1)+可:(dCM (0 0 1) R2 軸2)	
CRANK軸	CRANKとの接合部位	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dCM (0 0 1) R1 軸1)+可:(dCM (0 0 1) R2 軸2)	
		+可:(dRM (0 0 1) R3 軸3)	
	全体運動仮説	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dCM (0 0 1) R1 軸1)+可:(dCM (0 0 1) R2 軸2)	
		+可:(dRM (0 0 1) R3 軸3)	
	系外との接合部位	(dLM (0 1 0) L1)+可:(dCM (0 0 1) R1 軸1)+可:(dCM (0 0 1) R2 軸2)	
		+可:(dRM (0 0 1) R3 軸3)	

系外に科せられた運動制約=静止【付録I(1)(a), II, I(1)(d)】

仕様変更要求メッセージの伝搬 (逆伝搬)

CRANK軸	系外との接合部位	(dRM (0 0 1) R4 軸4)	【付録I(2)(a)(b)(4)(a), II, I(4)(c)】
	全体運動仮説	(dRM (0 0 1) R4 軸4)	
	CRANKとの接合部位	(dRM (0 0 1) R4 軸4)	
CRANK	CRANK軸との接合部位	(dRM (0 0 1) R4 軸4)	【付録I(2)(a)(b)(4)(a), II, I(4)(c)】
	全体運動仮説	(dRM (0 0 1) R4 軸4)	
	RODとの接合部位	(dCM (0 0 1) R4 軸4)	
ROD	CRANKとの接合部位	(dCM (0 0 1) R4 軸4)+可:(dRM (0 0 1) R5 軸5) ... (iv)	

条件を満たす2つの仮説がそろう (但し, 下線部, 着目した接合部位自身のdRMは無視する)。

競合解消【付I(2)(a)(b)(4)(a), II】CRANKとの接合部位において

仮説1: 微小運動0 (dLM (0 1 0) L1) 微小運動1 (dCM (0 0 1) R1 軸1)

仮説2: 微小運動2 (dCM (0 0 1) R4 軸4)

微小運動0に基づくRODの位置の算出

微小運動1に基づくRODのCRANKとの接合部位の移動範囲算出

微小運動0による移動後のRODのPISTONとの接合部位位置の中心を中心とし,

微小運動0による移動後のRODのCRANKとの接合部位を通る円の方程式の立式...式1

微小運動2に基づくRODのCRANKとの接合部位の移動範囲の算出

CRANK軸と系外の接合部位の中心を中心とし, RODのCRANKとの接合部位を通る

円の方程式の立式...式2.

式1と式2の交点の算出

2つの解のうちもとの接合部位位置に近い方を移動後の接合部位位置と判定し,

仮説1で仮説2を説明可能と判定。【付録I(4)(b)】

各パラメータ(R1,R2,R3,R4)値に具体値を割り付け, 各部品的位置が確定。

OKメッセージの伝搬 【付I(3)(a)】

ROD→CRANK→CRANK軸→系外→CRANK軸→CRANK→ROD→PISTONと伝搬。

PISTONの微小運動 (dLM (0 1 0) L1)

RODの微小運動 (dLM (0 1 0) L1)+可:(dRM (0 0 1) R1 軸1)

CRANKの微小運動 (dRM (0 0 1) R4 軸4)

CRANK軸の微小運動 (dRM (0 0 1) R4 軸4)

(注) 「可」は付加する可能性のある動き, 【付録...】は付録アルゴリズムの参照箇所を示す。

軸1~4は, それぞれ, PISTON-ROD接合部位, ROD-CRANK接合部位, CRANK-CRANK軸接合部位,

系外-CRANK軸接合部位の中心軸を, L1, R1, R2, R3, R4は運動のパラメータを表す。

図3 シミュレーションの概要 (1ステップ分)

Fig. 3 The example of one step simulation process.

確な目的のもとに設計され, 目的に応じてある部品が特定の動きをした場合に他の部品の動きがあいまい性をもたずに決定できるように, 必要な部品の動きに強い制約が与えられている。従って, 文で主張されたことだけでは動きが規定できない場合でも, あらかじめ与えられた制約のもとに推定できる動きを合わせて考えれば, 各部品の動きを明確に定められる。但し, 文

で直接主張される部品の動きそのものの定量的パラメータは一般には不定である。ここでは, その不定のパラメータの値を適当な微小量 (具体的には後述) と仮定して, その場合の他の部品の動きを決定することを考える。

すなわち, 本論文の範囲では, 以下の方針で各部品の動きを決定できる (図3にシミュレーション1ステッ

ア分の例を示す。アルゴリズムの詳細は付録参照)。

① 文で動きが述べられた部品を起点として部品間の接続関係に従って動きの仮説を伝搬しつつ、H1~3に基づき接続先の部品の動きを推定して、各部品の動きの仮説を順次立てていく(図3中仮説の正伝搬部)。

② 動きを順次伝搬し、系外に至ると、立てられた仮説が系外に与えられた動きの制約を満たすか否かをチェックする。満たさない場合、系外から部品の接続関係を①と逆にたどり、系外に課せられた制約をもとに系外に接続する部品の動きの仮説を立てる(図3仮説の逆伝搬中のCRANK軸の仮説設定)。その結果、この部品の動きに関して二つの仮説が競合する。

③ 二つの仮説の競合解消を図る。解消できない場合は、系外に課せられた制約をもとに、部品の接続関係を①と逆順にたどりながらH1~3を用いて各部品の動きの仮説を立て直し、各部品において仮説の競合解消が図れないかを試していく(図3仮説の逆伝搬部)。

④ いずれかの部品で仮説競合が解消された場合、各仮説のパラメータ値も同時に決定される(後述)。それに基づき各部品の位置を算出する(図3競合解消部)。

⑤ いずれの部品でも仮説の競合解消ができなければ、シミュレーション失敗とする。

ここで、③で生ずる動きの仮説同士の競合の解消をどのように処理するかが重要なポイントとなる。例えば、ピストンが下降した場合の、ロッドとクランクとの接合部位の動きについては、

(a) ピストンのdLMに従いdLMしつつ、ピストンとの軸受けの中心軸を軸としてdCMを行う。

(b) クランク軸中心を軸としてdCMを行う。

という二つの仮説が立つ。これらは着目点の異なり、記号表現上は全く異なったものとなる。ある状況下で両者が同一の動きを主張することを、記号表現の枠組みで導出するためには、両者の同一性を主張するルールを用意しなければならない。そのようなルールの条件部には、物体同士の位置関係、物体間の距離、『ロッドの長さ』等の物体の外観的属性値等、空間的状況に関する条件を記述しなくてはならない。しかし、記号表現で空間的状況をあいまい性をもたないように記述することは、一般には非常に困難である。

しかし、2次元図形情報を用いれば、この動きの仮説の競合を自然に解消し得る。2次元座標系は2.2で述べたように位置関係や距離の情報を適切に保持でき、二つの領域を別個に同じ座標系に書き込めば、それらの共有範囲なども自動的に表現される。この特性によ

り、先の例の場合でも、(a)と(b)の各仮説が示す接合部位の可動範囲を同一の座標系に書き込めば、両者の重なりの有無を容易に調べられる。重なりがあれば、そこが二つの仮説の双方に矛盾しない、接合部位の移動可能範囲である。本論文では、物体の配置を表す式集合を利用して、これに相当する仮説競合解消を行う。

対象とする機械機構において文章で述べられた動きに従ったすべての部品の位置があいまい性なく決定できる場合には、③のプロセスの中で、次の条件を満たす二つの仮説を保持する部品が現れる。

[条件] 一方の仮説(仮説1)が、文で主張された部品の動きに従った微小移動0をしつつ、いずれかの接合部位において生ずる微小移動1がそれに加わる可能性があることを主張し、他方の仮説(仮説2)が、あらかじめ動きが定められた部品に制約されて、微小移動2をする可能性があることを主張すること。但し、微小移動1, 2は、移動方向の定まったdLM, または、回転軸が定まったdCM/dRMのいずれかとする。

なぜなら、各仮説が不確定なパラメータをもつ動きを二つ以上含む場合は、その仮説に基づくある1点の可動範囲が線ではなく面となり、二つの仮説が主張するその点の可動範囲の重なりを求めても、移動後の位置を1点に絞りきれない。すなわち、いずれかの部品でこの条件が満たされないと、結局各部品の位置を一意に決定できなくなるからである。

教科書等で取り扱われる機械機構は、ある部品の動きが決定されると、そこから他の部品の動きのパラメータも決定されるようになっている。教科書^{(10)~(12)}および参考書^{(13)~(19)}の範囲内で取り上げられている機械機構もすべてこの条件を満たしている。但し、エンジンにおいてピストンが上死点で静止している状態からピストンが下降を始める場合など、特殊なケースではそれでもあいまい性が残ってしまう。しかし、教科書等では、多くの場合そのような状況に陥らないように工夫して説明している(ピストンが上死点に達した場合には、クランクに目を向けさせ、クランクの回転が継続することを明言するなど)。また、特にそのような工夫がない場合で、動きにあいまい性が残るときは、各部品のそれまでの運動状態が可能な限り保持されると仮定しても支障がない。これは、教科書等では着目すべき変化については省略せずに取り上げて記述されていることによる。

上記条件が成立した場合、仮説の競合解消は次のように行う。図3のロッドにおける競合解消を考える。

要求メッセージ伝搬の過程で、ピストンからロッドへ文で主張された動きが伝搬され、ロッドでは、まず、**H3**を用いてピストンとロッドの接合部位のピストン側の動きをもとに同接合部位のロッド側の動きを推定する(図3(i))、次いで、**H2**によりロッド全体の動きを推定し(図3(ii))、更に、**H1**に基づきロッドとクランクの接合部位のロッド側の動きの仮説を生成する(図3(iii))、仮説1)。一方、仕様変更要求メッセージ伝搬の過程で、あらかじめ定められた系外の動きに従ってロッドとクランクとの接合部位の動きの仮説が立ち(図3(iv))、仮説2)、ここで仮説の競合が起こる。

そこで、まず、図3仮説1に基づき、図3微小移動0に従ってロッドのクランクとの接合部位が移動した際の移動後の位置(L_0 とする)を求める。更に、その位置で微小移動1をした場合に、その接合部位が到達し得る範囲を表す式(式1)を立てる(一般には、微小移動がdLMなら、 L_0 を通り、そのdLMの方向の直線の式、dCM/dRMなら、 L_0 の始点を通り、そのdCM/dRMの中心軸(微小移動0を考慮して決定)上に中心をもち、その中心軸に垂直な円の式)。次に、仮説2に従い、同接合部位が微小移動2をした場合に到達し得る範囲を表す式(式2)を立てる。この二つの式を連立させて得られる解が示す位置が、二つの仮説の双方に矛盾しない移動後の位置と決定できる。また、一つの部位の位置が確定すれば、変化の始点と終点が定まるので、その部位の運動仮説に含まれるパラメータの値も算出できる。すべてのパラメータ値が定まると、他の部位・部品の微小運動も決定される。

なお、微小時間シミュレーション1ステップの時間幅は、文章で言及された動きのパラメータ値を設定することにより定まることになる(このため、時間に関しては定量的議論はできない)。この値は、運動の傾向が変化するまでにその傾向を認識する(次節)のに十分なステップ数がとれるように定める必要がある。本論文では、経験的に、平行移動距離の場合は部品の平均サイズ(輪郭の線分の長さおよび円弧の直径)の1/20程度の定数、回転角の場合は5度に定めている。

機械の動作を適当な配置パラメータ間の制約式に基づいてシミュレートする手法はCADの分野でも検討されている。CADではシミュレーションの高速性・効率が問題となるので、制約式も、対象となる機械機構の動作の全体像を既知とし、その大域的特徴を最大限に利用するのが一般的である(例えば、クランクの回転量とロッドの回転量との間の関係を式にするなど)。しか

し、本論文では、機械機構の動作の全体像を求めることが目的となるので、部品に加わる局所的な制約をベースにシミュレーションが行えなければならない。ここで提案した手法は、個々の部品に加えられた局所的な制約を(連立方程式の解を求めるという形で)2次元平面という共通の場の上で組み合わせることにより、機械工学的な高度な制約式を用いることなく、機械全体の動きを推定可能にするものである。

3.2 対象世界モデルの認識

(1) 必要性

例えば「ピストンが下がる」という文に基づき、前項のシミュレーション機構でクランクの配置が時々刻々変化する様子を対象世界モデルで再現することと、『クランクが回る』に相当する記号的認識表現を得るということは、別のことである。特定の記号表現を得るためには、対象世界モデルを特定の着目点に基づいて認識してやる必要がある。対象世界モデルには、特定の着目点に応じた記号的認識表現を適宜生成するような記号表現生成機構が備わっていないなければならない。

(2) 必要な記号表現生成機構

必要な記号表現生成機構は、言語化の対象とすべき事象のタイプ、考えられる着目点の取り方に依存する。従って、入力文タイプと機械機構動作説明文で見られる着目点の取り方をもとに、必要な機構を考えればよい。

文タイプに基づいて考えると、物体の存在を表す記号表現(TYPE1)、変化を表す記号表現(TYPE2, 4)、属性の値を表す記号表現(TYPE3)を生成する機構が必要と考えられる(TYPE5はもともと記号的に記されているので問題にならない。TYPE6の力に関連する内容は、2次元座標イメージとなじまないため、対象からはずす)。更に、複文の場合には、接続助詞により事象間の関係(因果関係等)が主張されるので、事象間の関係を表す記号表現を生成する機構も必要となる。

次に、着目点の取り方に基づいて考える。物体の存在位置や位置変化は、ある特定の位置との間の相対的な位置関係に基づいてとらえ直し得る。このため、相対的位置関係を表す記号表現を生成する機構が必要となる。また、変化に関しては、とらえ方の時間的粒度に応じて変化傾向や反復性に着目した言語化がなされ得る。そこで、変化の傾向・反復性というパターンに基づいて変化を表現する記号表現を生成する機構が必要となる。更に、変化過程の特定の部分のみに焦点を

あてて(開始・終了・達成といった変化の相に着目して)言語化されることもある。従って、相に着目して変化を表現する記号表現を生成する機構も必要である。

以上まとめると、結局、本論文の範囲では、

- [1] 物体の(ある位置における)存在
- [2] 属性の値
- [3] 相対的位置関係
- [4] 変化
 - [4-1] 一定傾向変化
 - [4-2] 反復変化
 - [4-3] 変化の相(a.開始相, b.終了相, c.達成相)
- [5] 事象間の関係

を表す記号表現の生成機構があればよい。これらの実現方法は、紙数の都合で省略する(文献(20)参照)。

4. 入力文章の読取り

4.1 単語の意味情報と読取りの基本機構

本論文では、高木・伊東の考え方⁽²¹⁾に基づいて、文章を読み取る機構を考える⁽²²⁾。単語の意味情報として、「ピストン」のような物体を表す名詞には、その物体の占有領域を表す式集合を保持する物体フレームを、状態や変化を表す述語には、その状態や変化に相当する事象命題フレームをもった動詞フレームを与える。また「下がる」「円周運動する」「周期」のように記号表現生成機構によって生成される事象命題や属性に対応する単語の意味情報中には、事象命題フレームを生成したり属性値を計測したりするための機構名も記入しておく。単語の意味情報の例を図4に示す。

文の読取りは、構文解析によって抽出される単語間の意味接続関係の木(単語間の係り受けを表す木構造で表現される)を末端から順にたどりながら行う。その過程では、まず、係り受けの構造に従って、個々の単語の意味情報を組み合わせ、句の意味情報(名詞句なら物体フレーム等、動詞句なら事象命題フレーム等)を構成する(図3「ピストンが下がる」の例参照)。

更に、名詞句、動詞句という文の基本単位では、その句の referent の同定を行う。referent の同定は、基本的には句の意味情報に相当するフレームと、世界モデル中のフレームとの記号的マッチングにより行われる。しかし、マッチングの対象となるべき記号情報が世界モデル中にまだ存在していない場合には、その語句の主張内容に関するシミュレーション(これを読取りシミュレーションと呼ぶ)を行う。

```

@PISTON
concept : CONCEPT_PISTON
whole   : ENGINE
part    : (@P_PART1 @P_PART2 @P_PART3)
portion : (@P_CONNECTION1 @P_CONNECTION2)
attribute:
connection: ((PROPOSITION1 @P_CONNECTION1)
              (PROPOSITION2 @P_CONNECTION2))
figurative_information:
  ((AND (CIRCLE 150 118.871 10 <=)
        (LINE 45 0 -8910.020 <=)
        (LINE 0 -96 12851.616 >=)
        (LINE 45 0 -4590.010 >=)
        (LINE 0 -96 8531.606 <=))
        DEPICT_PISTON)
    
```

(1) WORD: 『ピストン』

```

@MOVE_DOWN
concept : CONCEPT_MOVE_DOWN
proposition: @EVENT_MOVE_DOWN
case : ((SUBJ CASE_TOK1))
attribute :
    
```

```

@EVENT_MOVE_DOWN
proposition: (CONTINUE CASE_TOK1 (dLM (0 1 0) *))
interpreter: CONTINUE_INTERPRETER
    
```

(2) WORD: 『下がる』

図4 単語の意味情報

Fig. 4 Examples of word meaning description.

4.2 世界モデルの構築

読取りシミュレーションでは、単語の意味記述をもとに、3.1で述べた微小時間シミュレーションを繰り返して実行する。例えば、「ピストンが下がる」の場合、「ピストン」と「下がる」の意味記述(図4)より、「ピストンが下がる」に相当する事象命題フレームが作成され、その内容であるピストンの(dLM (0 1 0) *)という動きを初期メッセージとして、微小時間シミュレーションを繰り返す[†](図3がその1ステップ)。それによりピストンが下がる過程での各部品の各時刻の微小変化が表7の形式で求められ、変化主体から参照可能な形で対象世界モデルに蓄積される。また、シミュレーション過程では、記号表現生成機構がモデルを常時監視しており、新たな事象命題フレームがモデル中に書き込まれることがある。例えば「ピストンが下がる」のシミュレーション過程では、3.2[4-1]の一定傾向の変化を認識する記号表現生成機構により、「クランクが回転している:(continue CRANK (dRM (0 0 1) * (0 0 1)))」等の命題認識を表す事象命題フレーム群がモデル中に書き加えられる。但し、不必要な記号的認識が生成されないよう、読取り開始段階では、[4-1][4-2][4-3]の記号表現生成機構のみを活性化してお

[†] 但し、変化傾向がわかると、その傾向がその後も続くことと仮定することにより、先行きを予測することができる。本論文では、記号表現生成機構によって変化傾向が把握されると、その傾向に変動が生じる可能性がある時点を推定し、そこから再び微小時間シミュレーションを再開するようにしている。詳細は文献(21)参照。

き、その他の記号表現生成機構は、読み取る語句がこれらの出力の記号的認識に相当するとわかった場合に活性化することにする(詳細は文献(22))。

referentの同定は、単語の意味情報の一部として与えられる記号的な意味記述(フレーム)と、対象世界モデル中の記号表現(フレーム)とのマッチングによって行う(マッチングの時点までに、適切な記号表現生成機構が活性化していない場合には、それらの機構を活性化した上で再シミュレーションを行う。詳細は文献(22)、具体例は5.に記す。)

複数の文(複文を含む)を読み取る場合、各文の読取りシミュレーションの初期状態をどう定めるか、シミュレーションをいつまで継続するかが問題となる。本論文では、教科書が、①現象の再現のために着目すべき変化については陽に言及していること、②現象を時間の流れに沿って説明していること、に基づき、以下のヒューリスティクスを用いて対処している。

- ・文で陽に主張された事象のシミュレーションが継続できなくなった場合(可能世界が複数考えられてしまう場合も含む)、その時点でシミュレーションを中止し、次の文の入力を待つ。

- ・上述の条件でシミュレーションを中止した場合、常に次文をもとにシミュレーションを行う。その際、前文のシミュレーション終了状態を初期状態とする。

また、シミュレーションを継続して一定時間経過するとシミュレーションを終了させる。以降の文をシミュレーション結果と付き合わせ、referentが同定できなくなったらシミュレーションを再開する。その際、原則として、それまでのシミュレーション終了状態を初期

状態とするが、事象の生起時刻が指定された場合には、その時刻の状態を初期状態とする。

5. 試作システムによる実験と評価

5.1 システムの構成

システム構成を図5に示す。基本部分はKCLで、領域を表す式集合をグラフィックとして視覚化する部分のみX Window Systemで記述している。学生が図面を読み取った状態を想定し、初期モデルを与えておく。

5.2 入力文章の読取りと質問応答例

実験システムの処理例を図6に示す。本実験では、(1)に示した4サイクルエンジンの動作説明文の読取りを行った。初期モデルとして、エンジンの主要な部品と“系外”を表す6個の物体フレーム、それらの接合部位を表す12個の物体フレーム、各部品の各種部分を表す12個の物体フレーム、各部品間の接合を表す6個の事象命題フレームをシステムに与えた。また、部品に対する動きの制約として、系外とシリンダおよびクランク軸の接合を定義し、系外にそれが運動不能である旨の制約を与えた。各部品の初期配置として(2)に相当する領域式集合を各物体フレームに与えた。

文が入力されると、解析部で単語間の意味接続関係を表す木が抽出される。解析器は、(株)CSKで開発されたものに、出力を4.1で述べた木の形に整形するフィルタを組み合わせて利用している(教科書・参考書の例文に基づいて辞書を編集している)。読取り部では必要に応じて読取りシミュレーションが実行され、文の主張に沿って対象世界モデルが操作される。その際、式集合を用いて部品の移動過程が逐次ウィンドウ上に表示される。記号表現生成機構は常に対象世界モデルを監視し、定められた条件のもとで、新たな記号的認識を生成し、対象世界モデルに書き加える。

第1文では、まず、「クランクが下がる」という現象のシミュレーションが行われる。シミュレーションは、ピストンが下死点に達し下降不能になる時点まで行われる。この間に、記号表現認識機構により「クランクが回転している」旨の記号的認識(事象命題フレーム)が得られるので、主節の内容は、記号的マッチングで確認ができる。

第1文のシミュレーションがシミュレーション不能状態で中止されたので、第2文の従属節の読取りでは、クランクの回転をトリガーとするシミュレーションが行われる。このシミュレーションは、あらかじめ決定しておいたシミュレーション継続最大時間長だけ行わ

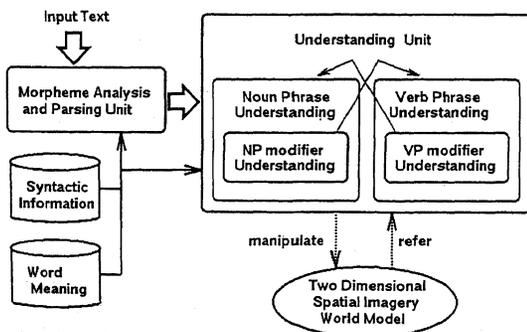
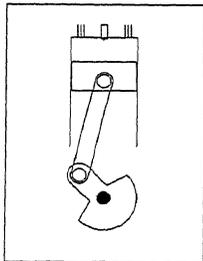


図5 システム構成
Fig. 5 System configuration.

(1) input text

- ・ピストンが下がるとクランクは回り始める。
- ・クランクが回り続けるとピストンはやがて上昇し始める。
- ・クランクが回り続けることによってピストンは上昇を続け、シリンダの上端近くまで達する。
- ・ピストンが上がりきった時、下向きの力がピストンに加わればピストンは再び下がり始める。
- ・結局、ピストンの往復運動に伴って、それと同じ周期でクランクは回転する。

(2) the initial state of the model



(3) QA of the system

- Q1: ロッドは何と接続していますか。
 A1: ピストンとクランクです。(①)
- Q2: ピストンが下がりきった時にクランクはどのようになっていますか。
 A2: この状態で回転しています。(②)
- Q3: ピストンが下がりきった時にロッドとクランクとの接続部分はクランク軸の中心から見てどこにありますか。
 A3: 下です。(③)
- Q4: ピストンがシリンダの上端から離れてゆく時、ロッドの下端はどのように動きますか。
 A4: このように円周運動します。(④)
- Q5: ピストンが上下動するとロッドはどのように動きますか。
 A5: Aのように上下動しながらBのように振り運動します。(⑤, ⑥)
- Q6: ピストンが上下動している時にシリンダは動きましたか。
 A6: いいえ動きませんでした。
- Q7: ピストンはどの範囲で移動しますか。
 A7: この範囲です。(⑦)

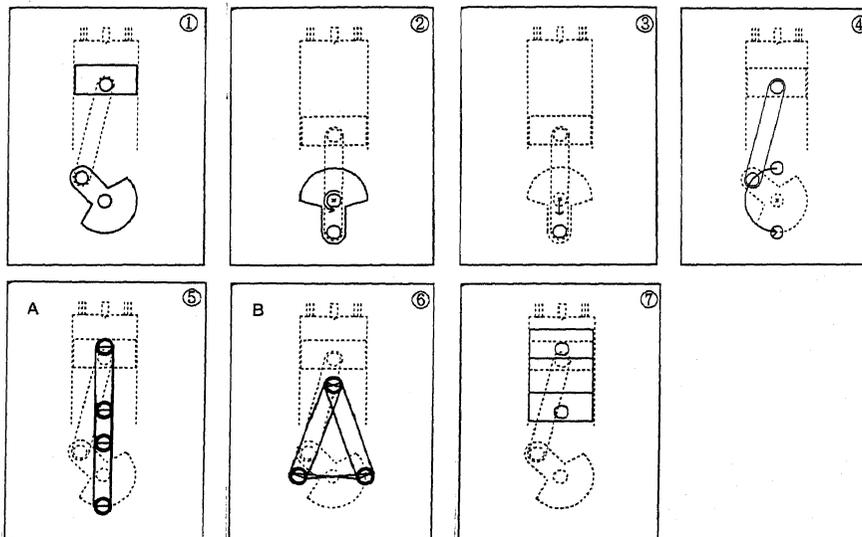


図6 実行例

Fig. 6 Input information and a QA.

れる(実験では、ピストンが上昇した後に若干の下降をする時点まで継続されている)。主節の内容は1文目と同様、記号的マッチングだけで確認できる。

第3文従属節の内容も記号的マッチングで確認できる。第3文主節の「達する」という現象については、それを認識するための記号表現生成機構([3])が活性化されてないため、現象としては再現しているものの、

記号的には認識できていない。そこで、達成現象を認識する記号表現生成機構を活性化した上で、これまでのシミュレーションを再び繰り返す。すると、やがてその記号表現生成機構により(reach PISTON loc_A)を内容とする事象命題フレームが出力される(loc_Aはシリンダの上端近くに対応するフレームID)。それが辞書情報から作成した主節の事象命題フレームと記号的

にマッチするため、今出力された事象命題フレームを主節の referent として、シミュレーションを終了する。

第4文では、まず「ピストンが上がりきったとき」が記号的マッチングにより同定される。本システムでは力の授受に関しては、力を受ける物体の移動現象ととらえ直した上でシミュレーションを行うことにしており、第4文従属節の読取りでは、ピストンの下向き移動に関するシミュレーションが行われ、ピストンが下死点に達するまでの過程がシミュレートされる(この際、クランクがどちら向きに回転を始めるのかについては、文章の明示的な記述のみでは不明だが、本システムでは、あえて何も言及されなかったことを理由として、それまでと同じ向きに回転するものと仮定している)。

第5文の従属節では、反復運動に言及されているので、反復現象を認識するための記号表現生成機構([4-2])を活性化した上で再シミュレーションを行う。しかし、反復運動の検出には、ある程度の数のシミュレーションステップがかかるため、4文目までの状態の再シミュレーションを行っても実際にはピストンの反復を検出できない。そこで、本システムでは、文で反復運動が主張されている場合に限り、過去に同一状態でシミュレーションを行ったときに用いたシミュレ-

ーションの初期メッセージを再利用してシミュレーションを続行させることにしている。そのようにして反復運動に相当する事象命題フレームを得ると、それと、辞書情報から作成した従属節の事象命題フレームとが記号的にマッチする。主節の内容に相当する記号的認識は、そのシミュレーションの過程で反復現象を認識する記号表現生成機構により得られているので、記号的マッチングで確認ができることになる。

入力文章の読取りにより、文脈情報が適切に蓄積されることを確認するため、簡単なQAを行った。質問として表11に示す4タイプを考え、表に示した方法で処理することとした。結果を(3)に示す。例えばQ5はタイプ2の質問なので、応答作成のために、動きのパターンを認識する記号表現生成機構([4-1][4-2])が活性化され、再シミュレーションが行われる。再シミュレーション過程で、図3に示したような微小時間シミュレーションが繰り返し実行され、時間経過につれて、ロッドのdLMとdRMを表す微小変化フレーム(図3のRODの微小運動)が対象世界モデル中に蓄積される。やがて[4-1]のタイプの記号表現生成機構により、ロッドが一定方向のdLMと一定回転方向のdRMを継続している旨の事象命題フレーム(それぞれ(continue ROD (dLM (0 1 0) *)))および(continue ROD (dRM (0 0 1) * 軸)))が対象世界モデルに書き込まれる。更に、その後、その一定傾向の運動が、向きを交互に変えながら、繰り返されていることが、[4-2]のタイプの記号表現生成機構によりとらえられ、

(repeat ((continue ROD (dLM (0 1 0) *)))
(continue ROD (dLM (0 -1 0) *)))
(repeat ((continue ROD (dRM (0 0 1) * 軸 a))
(continue ROD (dRM (0 0 -1) *
軸 a))))

を内容とする事象命題フレームがモデルに書き込まれる。このフレームを用いて単語辞書を内容検索し、『上下動する』『振り子運動する』という語を求める。応答文の単語間の係り受け構造は質問のタイプごとに用意するテンプレートを用いて定める(詳細は省略)。例えばタイプ2のQ5に対しては、先に求めた二つの動詞のうち、主動詞とするものを任意に定め、残りを従属節として接続助詞を介して主節と接続させ、図との対応を示す語句を加え、応答文の係り受け構造とする。そこからA5の応答文が生成される(係り受けの木構造からの文生成過程は文献(21)参照)。また、画面上に⑤⑥のようなグラフィックが描画される。

表11 疑問文のタイプと応答処理の概要

タイプ1	<p>文型: 疑問連体詞 + N + 格助詞 + VP + 疑問終助詞 内容: ・ 特定の動きをしている物体を問うもの ・ ある部品の接続相手部品を問うもの ・ ある物体の存在場所を問うもの ・ ある場所に存在している物体を問うもの 処理: Nを先行詞, VPを関係節内の動詞句とする関係節を考え、その先行詞のレファレントを求め、それを答える。そのレファレントを画面上で強調表示する。</p>
タイプ2	<p>文型: 疑問副詞 + 動詞 + 疑問終助詞 内容: 動きの傾向や反復性などのパターンを認識するタイプの記号表現生成機構を活性化した上で、再シミュレーションを行い、その結果生成された、着目された物体の動きを表す事象命題フレームの中で、最も概略的に動きを表しているものを選び、言語化して答える。また、その動きの軌跡を画面上で強調表示する。</p>
タイプ3	<p>文型: 時点を示す時間格助詞句 + 疑問副詞 + なっている + 疑問終助詞 内容: ある時点での物体の状態を問うもの 処理: 指定された時点での状態の対象世界モデルを再現し、その時点での、着目された物体の動きを表す事象命題フレームに着目し、言語化して答える。また、その動きを画面上で強調表示する。</p>
タイプ4	<p>文型: 疑問語類を含まない節 + 疑問終助詞 内容: YES-NO疑問 処理: その節のレファレントを求め、それが存在すれば、肯定応答をし、それが存在しなければ否定応答をする。</p>

5.3 評 価

機械動作説明文の読取りに不可欠な機械機構シミュレーションで、空間的制約をうまく利用できた。入力文の読取り、質問応答において、着目点依存性の問題を回避できた。これらは、(1)空間的位相情報を失わずに入力情報を保持してさまざまな着目点からの再解釈を可能するモデルの利用、(2)そのモデル上でシミュレーションやモデルの再解釈に基づく命題的認識の生成能力の実現、による。本論文で提案した方法は、①機械の設計目的に応じて部品の動きがあいまい性なく決定できるという強い制約を仮定すれば、提案したアルゴリズムでシミュレーションが実行できること、②モデルの再解釈の視点は、3.2で整理した範囲に限定されていること、により、2.1の規定範囲内の文であれば、ほぼ受け付けることができる。シミュレーションに関しては、エンジン以外の機構についての試作システムによる実験は完了していないが、糸のこ盤やミシン機構の一部などいくつかの機構で問題なく動作することを机上のトレースを通じて確認している。

但し、本論文で提案した方法は、複数の文の読取りを4.2で示したヒューリスティックスで制御している。それらが適切に機能することは、教科書では部品の動きが時間順に説明され、かつ、ギャップのないように丁寧に説明が加えられているなど、いくつかの前提による。実際、エンジンの動作を説明した教科書や参考書の文章の中のTYPE 1-6の文を対象に調べると、その条件がほぼ満たされている。しかし、教科書中の機械の構造や動きを説明している文章全体を見ると、その前提が常に成立しているとは言えない(例えば、教科書⁽¹¹⁾の機械の構造や動きを述べたTYPE 1-6の全文19文のうち、前述のヒューリスティックスでシミュレーションを継続できるのが13文(約70%)であった)。複数文の読取りに際し、各文のシミュレーションをつなぎ合わせて一貫した動きを再現する仕組みに関しては、更に改善の余地が残されている。

また、現段階で取り扱うことのできる文章の割合は、教科書「機械」の章中の機械の構造・動作説明全体に対し、まだ比較的小さい。機械の構造・動作説明の文は、教科書の「機械」の章の約2.5割に相当するが(教科書^{(10)~(12)}を対象として段落数で評価)、その中には①エネルギーや摩擦に言及する文、②燃焼ガス等の気体の振舞いに言及した文、③機構の目的・利用法に言及した文、④用語の定義、実習手順の説明、⑤説明の進行のための文が存在し、本研究で取り扱った範囲はそ

の約1/4程度(調査した教科書の範囲では、253文中64文)にとどまっている。特に①、②は、機械機構を理解する上で欠かせない内容である。従って、本論文で提案した方法を、例えば知識獲得などに応用するには、まだ多くの課題が残されている。

しかしながら、本論文で提案した枠組みは、2.2で述べた記号表現に基づく自然言語理解の限界を、部分的にはあるが打破する方法の一つと考えられる。

6. む す び

中学技術教科書の機械機構動作説明文の理解を題材に、2次元図形イメージの対象世界モデルの表現と操作、それを利用した文章理解システムについて述べた。

対象世界の優れた表現手法として、心理学の分野でイメージについての研究が古くから行われている。本論文で対象世界モデルの条件として問題としてきた、特定の着目点に依存しない、連続性を自然に表現できる、という2点は、一般にイメージ表現がもつ基本的特性であると考えられる。この意味で、本論文での検討は、2次元空間的事物に限定されてはいるが、イメージ表現一般を知識表現として利用する際の基本的な考え方を示していると言うことができる。この考え方を発展させつつ、中学技術の教科書の機械機構動作説明文の理解をより十分なレベルで達成するために、エネルギーや気体の振舞いなどに関する文の取扱いを検討していくこと、3次元構造が問題になる機械機構、非剛体の部品を含む機械機構も取り扱えるように、枠組みを拡張していくことが今後の課題である。

謝辞 本研究をまとめるにあたり(株)CSK 高木朗氏には貴重な御助言を頂きました。また(株)CSKには自然言語解析器を貸与して頂きました。ここに記して感謝致します。

文 献

- (1) Kosslyn S. M.: "Image and Mind", Harvard University Press (1980).
- (2) Pylyshyn Z. W.: "The Imagery Debate: Analogue Media Versus Tacit Knowledge", Psychological Review, 88, 1, pp. 16-45 (1981).
- (3) Narayanan N. H. and Chandrasekaran B.: "Reasoning Visually about Spatial Interactions", Proc. of IJCAI-91, pp. 360-365 (Aug. 1991).
- (4) Barwise J. and Etchemendy J.: "Visual Information and Valid Reasoning", in "Visualization in Mathematics.", ed. Zimmerman, pp. 9-24, Mathematical Association of America, Washington D. C. (1990).
- (5) Novak Jr. G. S. and Bulko W.: "Understanding Natural

- Language with Diagrams”, Proc. of AAAI-90, pp. 465-470 (July 1990).
- (6) 野田庸男, 平塚芳隆, 高木 朗: “文脈理解とイメージ的知識”, AI学会研資, SIG-KBS-8902-5, pp. 41-50 (1989-06).
- (7) 山田 篤, 網谷勝俊, 星野泰一, 西田豊明, 堂下修司: “自然言語における空間描写の解析と情景の再構成”, 情報処理, 31, 5, pp. 660-672 (1990-05).
- (8) 横田将生: “人間の心像現象に基づく自然言語の意味記述について”, AI学会研資, SIG-FAI-8802-2, pp. 11-20 (1988-10).
- (9) 文部省: “中学校指導書 技術・家庭編”, 開隆堂出版 (1989-07).
- (10) 渡辺 茂ほか編: “技術・家庭 下”, pp. 9-42, 開隆堂 (1980).
- (11) 鈴木寿雄ほか編: “技術・家庭 下”, pp. 86-119, 開隆堂 (1992).
- (12) 石田晴久ほか編: “新しい技術・家庭 下”, pp. 79-112, 東京書籍 (1992).
- (13) 小学館編: “万有百科事典”, p. 328, 小学館 (1980).
- (14) 小学館編: “日本大百科全書”, p. 86, 小学館 (1987).
- (15) 岩波書店編: “KAGAKU no ZITEN”, pp. 1173-1174, 岩波書店 (1985).
- (16) 畠山重信: “自動車工学”, 2章, pp. 3-4, 理工学社 (1978).
- (17) 廣安博之: “わかる内燃機関”, pp. 2-3, 日新出版 (1973).
- (18) ライフ編: “人間と科学シリーズ 機械の社会”, p. 102, タイム・ライフブックス (1976).
- (19) 出射忠明: “自動車メカニズム図鑑”, pp. 24-27, グランプリ出版 (1982).
- (20) 伊藤元之, 久保 晋, 畑中久嗣, 伊東幸宏: “2次元図形イメージの対象世界モデルを利用した機械機構の動作説明文の理解について”, AI学会研資, SIG-F/H/K-9101-11, pp. 101-110 (1991-12).
- (21) 久保 晋, 伊藤元之, 畑中久嗣, 伊東幸宏: “2次元図形イメージの対象世界モデルを利用した自然言語理解におけるシミュレーションについて”, 平成4年 AI学会全国大会 (1992-06).
- (22) Itoh M, Kubo S. and Itoh Y.: “Texts Understanding using a Two Dimensional Spatial Imagery World Model”, Proc. of PRICAI '92, pp. 589-595 (Sept. 1992).

付 録

微小時間シミュレーション機構の概要

I. 動きの決定までの概略アルゴリズム

各部品・接合部位の仮説は基本運動(H1, 2より, 確實に行うと推定された動き)と付加可能運動(H3より行う可能性があるときれた動き)からなる。

文内容に従う動きの決定は以下のように行う。文で動きが主張された部品に関し, 運動のパラメータ値を適当に設定し, 全体の動きの仮説(全体仮説)を立て, それをもとにその部品の各接合部位の動きの仮説(部位

仮説)を設定。接合相手に, 接合部位の部位仮説を内容とする要求メッセージ(その部位がその動きをすることを認めるよう相手部品に要求するもの)を送信。

メッセージを受信した部品での処理は以下のとおり。

(1) (a)それが系外の場合, 受信メッセージ内容が, 定められている動きで説明可能か否かをチェック(方法は後述)。可能なら, (b)要求を認めるOKメッセージを返送。説明できず, かつ, 最初の受信メッセージが仕様変更要求のときは, (c)NOメッセージを返送して終了。(d)そうでなければ, 定められた系外の動きに基づき送信元部品との間の接合部位の動きの仮説を立て, それを内容とする仕様変更要求メッセージ(その内容の動きなら許容できる旨を伝えるもの)を送信元部品に送る。

(2) 受信メッセージが要求の場合には, (a)受信メッセージをもとに全体仮説を立て, それに基づき各部位仮説を設定。(b)既にこの部品に関する別の全体仮説があれば(4)へ。それ以外は, (c)各接合部位で接合している接合相手部品に, ここで作成した部位仮説を内容とする要求メッセージを送信。

(3) 接合先の全部品からOKが返った場合, (a)最初に受信した要求に対しOKを返して終了。(b)仕様変更要求が送られてきた場合には, それに対し, (1)からの処理を施す。

(4) (a)既に全体仮説がある場合には, 既存の全体仮説と, 新規の部位仮説との間で説明可能性判定。(b)一方で他方を説明できる場合, 説明する側の仮説を採用。必要に応じてOKを返して終了。(c)説明がつかない場合は, 既存仮説のもとになったメッセージの送信部品との間の接合部位の動きの仮説を作成し, それを仕様変更要求メッセージとしてその部品へ送信(但し, 仕様変更要求を送ってきた部品へは仕様変更要求を送らない)。(d)それにOKが返されれば新仮説を採用し, 必要に応じてOKを返して終了。(e)NOが返ってきたら, 新仮説のもとになったメッセージに対しNOを送って終了。

以上の手順で各部品の処理を行い, 文で動きが言及された部品から最初に送り出した要求メッセージに対してOKが戻れば, その時点で各部品に保持されている仮説を文内容に沿う各部品の動きとする。

II. 仮説間での説明可能性の判定方法

説明可能性判定は, 一方は全体仮説, 他方は部位仮説群という形で行われる。まず, 全体仮説から接合部位の動きを推定して接合部位に関するもう一つの部位

仮説を作成。その上で、今作成した部位仮説で先の部位仮説が説明可能であるか否か、以下のように調べる。

A. 記号的レベルでマッチすれば説明可能と判定。

B. 3.1(2)の[条件]が満たされなければ、説明不可能と判定。

C. 二つの仮説各々が示す動きの方向ベクトルを求め比較し、両者のずれが90度以上の場合には、説明不可能と判定。

D. 二つの仮説が主張する接合部位の中心の可動範囲の式を立て、それらを連立させて解く。その接合部位の現在位置の近傍に解がなければ、説明不可能と判定。存在すれば説明可能とし、パラメータ値を決定する。

(平成6年7月5日受付, 12月26日再受付)



伊藤 元之

昭63早大・理工・電子通信卒。平2同大大学院修士課程了。平6静岡大大学院博士後期課程単位取得退学。現在(株)CSK勤務。自然言語処理に興味をもつ。人工知能学会会員。



久保 晋

平3静岡大・工・情報知識卒。平5同大大学院修士課程了。現在,(株)NTT勤務。自然言語処理,推論などに興味をもつ。人工知能学会会員。



伊東 幸宏

昭55早大・理工・電子通信卒。昭62同大大学院博士後期課程了。同年,早大・理工・電子通信助手。現在,静岡大・工・知能情報工学科助教授。工博。自然言語理解,知的教育システムなどに興味をもつ。情報処理,人工知能学会,日本認知科学会各会員。