

心像意味論と HPSG を用いた文生成について

笠 晃一[†] 横田 将生[‡]

福岡工業大学情報工学部

〒 811-0295 福岡市東区和白東 3 丁目

E-mail: † ryu@fit.ac.jp, ‡ yokota@fit.ac.jp

あらまし HPSG の意味論として心像意味論を使用するならば、両者の特長を合わせ持ったシステムを作成することが可能になる。すなわち、深い意味を扱うことができ、しかも、例外的な言語現象にも強いシステムである。このようなシステムは機械翻訳に適している。というのも、機械翻訳では翻訳の精度を上げるために深い意味処理が有効であり、また、HPSG により個々の単語レベルで発生する例外的な言語現象を文法規則を追加することなく記述できるからである。機械翻訳では通常は大規模な文法規則が必要であり、全体の整合性をとりつつ文法規則を新たに追加するのは困難である。我々はすでに統語・意味解析システムを完成させているので、今回は、文生成システムを試作した。使用したアルゴリズムはチャート生成であり、指標を用いた処理の効率化も行なっている。

キーワード 心像意味論、HPSG、文生成、チャート生成、機械翻訳

Sentence Generation Using Mental-image Directed Semantic Theory and HPSG

Koichi RYU Masao Yokota

Faculty of Information Engineering, Fukuoka Institute of Technology

3-30-1 Wajirohigashi, Higashi-ku, Fukuoka, 811-0295 Japan

Abstract The use of mental-image directed semantic theory (MIDST) for HPSG makes it possible to build a system which has the merits of the both theories. The system can deal with deep meaning and exceptional language phenomena. Such a system is suitable for machine translation, because processing deep meaning is valid for rising accuracy of translation, and the system can describe exceptional language phenomena occurring on a word's level without additional grammar rules. Machine translation usually needs a large scale of grammar rules, and it is difficult to add new grammar rules with whole consistency maintained. Since we have already developed a syntactic and semantic analysis system, we have constructed a sentence generation system by way of experiment in this research. The utilized algorithm is chart generation, and the efficiency of generation process is increased by indices.

Keywords mental-image directed semantic theory, HPSG, sentence generation, chart generation, machine translation

1. はじめに

心像意味論 [1] は、自然言語の意味を人間の心像現象と対応づけて説明する理論であり、モンタギュー意味論 [2] や状況意味論 [3] などと比べ、より深い意味の記述が可能である。一方、HPSG (主辞駆動句構造文法) [4] は語彙を基本とする言語理論であり、文法規則が数個で済むのが特長の一つである。自然言語では個々の単語レベルで例外的な言語現象が存在す

るので、通常の文脈自由文法を使用した場合、それらの現象を局所的な規則で記述してやる必要がある。このため、文法規則が複雑になり、規則間の整合性をとることも困難になる。HPSG では、そのような言語現象は語彙の内部に記述すればよいので、問題は生じない。

HPSG の意味論として心像意味論を使用し、これを機械翻訳へ適用すれば、上述したそれぞれの特長を合わせ持つシス

テムを構築することができる。中間言語方式を採用し、中間言語として心像意味論による意味記述を使用するわけである。我々はすでに、統語・意味解析システム [5] を完成しているので、今回は文生成を行なうためのシステムの構築を試みた。効率的な文生成アルゴリズムとしては、意味主辞駆動生成 [6] がよく知られている。しかしながら、この生成法は心像意味論との適合性がよくないので、ここでは Martin Kay によって提案されたチャート生成 [7] を使用することにした。ただし、チャート生成の心像意味論との適合性も完全なものではなく、統語・意味解析システムで使用した意味素性を拡張し、さらに、意味原理を変更する必要があった。また、チャート生成では処理の効率化のために指標を使用することができるので、本研究のシステムでも指標の利用を試みた。指標を使用する場合と使用しない場合とに分けて実験を行なったが、その結果を平均すると、指標を使用した場合の作業量は、使用しなかった場合の作業量の 60 パーセント程度で済むことが分かった。

2. 文生成アルゴリズム

中間言語方式の機械翻訳システムを考えた場合、統語・意味解析で使用される文法規則や辞書がそのまま文生成でも使用できると都合がよい。そのような目的で使用されるアルゴリズムとして、意味主辞駆動生成とチャート生成がよく知られている。

2.1 意味主辞駆動生成

意味主辞とは、文法規則の左辺の範疇の意味表現と同一の意味表現を持っている右辺の範疇のことである。意味主辞があるかどうかは、文法規則によって異なるが、意味主辞を含む規則をチェーン規則 (chain rule)、含まない規則を非チェーン規則 (non-chain rule) と呼んでいる。たとえば、図 1 の文法規則において、規則 (5) の左辺 vp の意味表現と右辺の v の意味表現は同一であり、v が規則 (5) の意味主辞である。そして、このことにより、規則 (5) はチェーン規則であるということになる。同様にして、規則 (6) と規則 (7) もチェーン規則であり、残りの規則はすべて非チェーン規則である。

文生成は非チェーン規則を使用するトップダウン的な処理と、チェーン規則を使用するボトムアップ的な処理からなる。たとえば、図 2 は seriously(love(mary,john)) という意味表現から文生成を行なう過程を図示したものである。まず、全体の根節点として①が与えられる。これに対して、左辺の意味表現が根節点の意味表現と単一化可能な非チェーン規則を選択する。図 1 の文法規則の中から規則 (4) が選ばれ、節点②が作成される。次に、節点②と単一化可能な主辞を持っているチェーン規則を捜し、規則 (6) が選択される。そして、この規則を用いて節点③と④が作成される。節点④の下に節点はないので、これを新たに根節点として処理を続ける。この

- (1) np/mary --> [mary].
 - (2) np/john --> [john]
 - (3) v(NP1,NP2)/loves(NP1,NP2) --> [loves].
 - (4) adv(VP)/seriously(VP) --> [seriously].
 - (5) vp(NP1)/VP --> v(NP1,NP2)/VP, np/NP2.
 - (6) vp(NP)/VP2 --> vp(NP)/VP1, adv(VP1)/VP2.
 - (7) s/S --> np/NP, vp(NP)/S.

図 1 意味主辞駆動生成のための文法規則

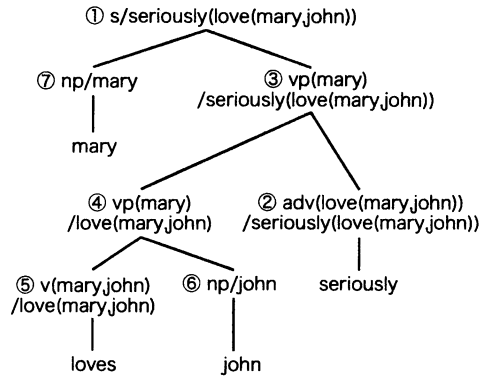


図 2 意味主辞駆動生成における処理

ようにして、ボトムアップ的な処理によって作成される節点が全体の根節点に一致するまで処理が続けられる。

この生成法は非常に効率的であるが、二つの理由により今回は採用しなかった。最も大きな理由は、心像意味論の意味処理方法にある。すなわち、心像意味論では母親の持つ意味はすべての娘の持つ意味を論理演算子で結合したものである。したがって、母親と同一の意味を持つ娘は存在せず、意味主辞は存在しないことになる。すべて非チェーン規則の場合でも意味主辞駆動生成を使用することはできるが、もはや効率性は期待できない。もう一つの理由は、論理式の等価性の問題 [8] である。論理式 (wff) は原子論理式を論理演算子で結合したものであるが、意味的に等価であっても、結合順序は様々なものが考えられる。たとえば、A、B、C を原子論理式、 \wedge を連言記号とすると、 $((A \wedge B) \wedge C)$ と等価な式が、 $(A \wedge (B \wedge C))$ 、 $((B \wedge A) \wedge C)$ 、 $(B \wedge (A \wedge C))$ などいくつも存在する。これが論理式の等価性であり、等価な式のうちのどれを生成器に与えれば生成がうまくいくのかは予測できないので、等価なすべての論理式を与える必要がある。論理式の等価性の問題は 1 階述語論理に対してさえも決定不能であり、論理演算子を連言記号に限ったとしても原子論理式の数が増えると等価な論理式は爆発的に増え、いずれにしても現実的でない。そして、意味主辞駆動生成を使用する限り、この問題は不可避である。

2.2 チャート生成

この生成法では、論理式の等価性の問題を避けるために、平坦な (flat) 記述が可能な意味論を採用する。たとえば、事象意味論や最小再帰意味論 (Minimal Recursion Semantics)[9] などがそうである。このうち、事象意味論では、"mary loves john seriously" という英文に対する意味表現を次のように記述することができる。

$$\begin{aligned} &x:\text{love}(x).\text{arg1}(x,y).\text{name}(y.\text{mary}).\text{arg2}(x,z). \\ &\quad \text{name}(z.\text{john}).\text{seriously}(x) \end{aligned} \quad (1)$$

コロンの後に続く原子論理式がコンマで結合されているが、このコンマは論理積を意味している。ただし、これは集合論的な記述であり、原子論理式の出現順序は意味を持たない。つまり、これは6個の要素からなる原子論理式の集合であり、各原子論理式の記述レベルは同一なので、平坦な記述になっている。

チャート生成は、原子論理式の集合を自由な語順を持った言語の文と考え、これを解析することによって文生成を行なおうというものである。すなわち、自由な語順を持った言語に対するチャート統語解析法であると考えることができる。したがって、アルゴリズムはチャート統語解析法の場合とほぼ同一である。ただし、文脈自由文法の場合は、二つの部分解析木に対応する文字列が、与えられた文において隣接している場合のみ、それらの間の相互作用が試みられるが、自由な語順を持った言語の場合にはそのような制限はない。制限としてあるのは、共通する原子論理式を含む二つの部分木の間に相互作用はないということのみである。この検査を高速に行なうために、通常はビットパターンが使用される。これは、各原子論理式に対応するビットを持ち、部分木が含んでいる原子論理式に対応するビットが1、他のビットが0となるようなものである。アルゴリズムの概略を次に示す。

- (1) 与えられた意味表現の一部と単一化可能な意味表現を持つ単語を辞書内に探し、見つかったものすべてをアジェンダに入れる。また、意味表現が空集合の単語もアジェンダに入れる。
- (2) アジェンダから1個の部分木を取り出し、チャート内の部分木との相互作用を試みる。ただし、共通する原子論理式を含んでいる部分木との間では何も行なわない。結合に成功した場合は結果をアジェンダに入れる。アジェンダから取り出された部分木は、チャートに入れる。
- (3) アジェンダが空ならば終わりである。さもなければ(2)へ行く。

表1 アジェンダの初期状態

単語	範疇	意味
mary	np(y)	y.name(y.mary)
john	np(z)	z.name(z.john)
loves	v(x,y,z)	x.love(x).arg1(x,y).arg2(x,z)
seriously	adv(x)	x.seriously(x)

- (1) $vp(x,y) \rightarrow v(x,y,z), np(z).$
 (2) $vp(x,y) \rightarrow vp(x,y), adv(x).$
 (3) $s(x) \rightarrow np(y), vp(x,y).$

図3 チャート生成のための文法規則

たとえば、式(1)のような意味表現に対する文生成を考えてみる。これに対し、表1に示すような単語が見つかり、アジェンダに入れられたとしよう。また、文法規則を図3のように与える。最初は、単語 mary がアジェンダから取り出されるが、チャートは空なので相互作用は発生せず、mary がチャートに入れられるだけである。次に、単語 john がアジェンダから取り出され、チャート内の部分木との相互作用が試みられるが、チャート内には単語 mary だけがあり、john と mary を結合する規則はないので、新しい部分木は作られない。john がチャートに入れられるだけである。さらに、単語 loves がアジェンダから取り出されるが、今度は、図3の規則(1)により、loves とチャート内の john が結合して、部分木 "loves john" が作成され、アジェンダに入れられる。この部分木は、loves の意味と john の意味を合わせた、次のような意味を持っている。

$$x:\text{love}(x).\text{arg1}(x,y).\text{arg2}(x,z).\text{name}(z.\text{john}) \quad (2)$$

次の単語 seriously では、新しい部分木は作成されない。このような処理を続けていき、アジェンダ内が空になったときに与えられた意味を持つ部分木があれば、これが持っている文字列が目的の文ということになる。

3. 心像意味論とチャート生成

心像意味論は本章で示すように平坦な意味記述を可能とするが、句と句とが結合するときに意味の一部を共有するような処理が必要な場合がある。しかしながら、チャート生成では意味の一部を共有するような結合は許されておらず、何らかの工夫が必要となる。本研究では、この問題を解決するため、従来の意味素性を拡張し新しい意味原理を導入した。

3.1 平坦な意味記述のための素性

心像意味論の意味記述法は事象意味論の記述法に類似しているため、本来は平坦な意味記述が可能な意味論である。しかし、通常は時間的結合子 [1] を用いて記述され、時間的結合子間には優先順位があるため、これが平坦な記述を阻害している。そこで、心像意味論の軌跡式を HPSG の素性構造で表現するに当たって、TIME 素性というものを導入し、これを用いて時間的結合子を表すことにした。時間的結合子には、同時的連言 (Π) と継時的連言 (\bullet) があるが、同時的連言は、二つの事象が同じ時間帯に起こっていることを表し、継時的連言は、一つの事象が起こった直後に、別の事象が起こることを表す。これらを TIME 素性により図 4 のように表した。ただし、ここでは集合記述 [5] を用いて連言を表しており、また、任意の i と j に対して、 $i < j$ ならば $t_i < t_j$ であると仮定している。たとえば、次の軌跡式 (3) は動詞「運ぶ」の概念を記述したものであるが、素性構造では図 5 のように表される。

$$L(\phi, x, p, q, A_{12}, G_t) \Pi L(x, y, p, q, A_{12}, G_t) \quad (3)$$

3.2 意味素性と意味原理

(a) 同時的連言

$$\left\{ \left[\text{TIME} \begin{bmatrix} T1 & t1 \\ T2 & t2 \end{bmatrix} \right], \left[\text{TIME} \begin{bmatrix} T1 & t1 \\ T2 & t2 \end{bmatrix} \right] \right\}$$

(b) 継時的連言

$$\left\{ \left[\text{TIME} \begin{bmatrix} T1 & t1 \\ T2 & t2 \end{bmatrix} \right], \left[\text{TIME} \begin{bmatrix} T1 & t2 \\ T2 & t3 \end{bmatrix} \right] \right\}$$

図 4 時間的結合子の素性構造による表現

$$\left\{ \begin{array}{l} L \\ \text{ACTOR } \phi \\ \text{SUBJ } x \\ \text{V1 } p \\ \text{V2 } q \\ \text{ATTR } A_{12} \\ \text{G } G_t \\ \text{TIME } \begin{bmatrix} T1 & t1 \\ T2 & t2 \end{bmatrix} \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} L \\ \text{ACTOR } x \\ \text{SUBJ } y \\ \text{V1 } p \\ \text{V2 } q \\ \text{ATTR } A_{12} \\ \text{G } G_t \\ \text{TIME } \begin{bmatrix} T1 & t1 \\ T2 & t2 \end{bmatrix} \end{array} \right\}$$

図 5 動詞「運ぶ」の概念の素性構造による表現

HPSG を使用しない場合、心像意味論は依存文法によって処理され、各単語はその意味として概念部と結合操作部を持っている。概念部は、文字通り、その単語の表す概念を記述するものであり、結合操作部は依存関係にある単語の概念部の結合方法を記述するものである。結合操作部は通常は二つの単語の概念部を単に結合するだけであるが、単語間の選択制限を検査したい場合もあり、このときは二つの単語の概念部がともに一定の式を含んでいるかどうかを調べ、含んでいるときに限りこの式を共有するように結合する。しかし、チャート生成では原子論理式の集合を自由な語順を持った言語の文と考えるため、意味の一部を共有するような結合は許されていない。すでに作成している統語・意味解析システムでは CONC 素性に概念部を記述していた。そこで、今回さらに JOINT 素性を追加し、概念部をこれら二つの素性に振り分けて記述することで、この問題を解決した。すなわち、概念部のうち、結合時に他の単語と共有する部分を JOINT 素性に記述し、残りの部分を CONC 素性に記述するようにしたのである。選択制限を検査するときには、JOINT 素性を使用する。さらに、新しい意味合成原理 [5] として次のようなものを使用する。ただし、意味継承原理 [5] は従来のもを使用することにする。

意味合成原理

適格な句構造においては、母親の CONC 値はすべての娘の CONC 値の直和集合になる。

以上のような準備を行えば、二つの単語の CONC 値が共有部分を持つように結合されるといふことができなくなる。すなわち、CONC 値を用いてチャート生成を行なうことができるわけである。

4. 指標を用いた効率化

チャート生成は、そのままでは非常に効率が悪く生成法なので、さまざまな効率化の手法が考えられている。その内の一つが指標を用いた効率化 [7] である。ここでは、まず、Kay が DCG に対して行なった手法を紹介し、その後、これを HPSG にどのように応用すればよいかについて述べる。

4.1 DCG の場合の指標の役割

2.2 節のチャート生成の説明では、不活性弧しか用いなかったが、ここでは活性弧も使用することにし、不活性弧と活性弧のみが相互作用を行なうとする。すなわち、不活性弧 $B(b, \dots)$ が作成されたならば、次のような形をしたすべての規則に対して、活性弧 $A(a, \dots)/C(c, \dots)$ を作成するのである。

$$A(\dots) \rightarrow B(b, \dots), C(c, \dots). \quad (4)$$

ここに、b は範疇 B の最初の引数、c は範疇 C の最初の引数である。そして、B(b,...) のような不活性弧は指標 b から伸びていると考える。また、A(..)/C(c,...) のような活性弧は指標 c から伸びていると考える。このようにすれば、弧と弧との相互作用を同一の指標から伸びている弧同士に限定することができ、生成の効率化に寄与する。

たとえば、意味表現 (1) からの文生成を考えると、表 1 の単語 john は np(z) という範疇を持つから、指標 z から伸びている。また、単語 loves の範疇 v(x,y,z) と図 3 の規則 (1) から vp(x,y)/np(z) という活性弧が作成されるが、これも指標 z から伸びている。この例では、指標 z から伸びる弧は他に存在せず、np(z) と vp(x,y)/np(z) の間だけで相互作用を行なってみればよいことになる。もし指標を使わなければ、チャート内のすべての弧との間で相互作用を行なってみなければならぬので、指標が処理の効率化に寄与していることが分かる。

4.2 HPSG の場合の指標選択法

前節で説明した手法を HPSG に適用することを考えよう。ただし、ここでは、ある弧が指標 a から伸びていることを、この弧は指標 a に束縛されるということにする。そして、どの指標にも束縛されない弧を自由な弧ということにする。まずは、不活性弧が束縛される指標であるが、これは従来の ARGS 素性を利用すればよい。ARGS 素性は、句の概念部の主要な変項を表すリストであり、利用目的は DCG の引数とほぼ同一である。したがって、不活性弧が束縛される指標として、ARGS 素性の最初の要素を選択することにする。ただし、この要素が具現化されていないときは、この句が束縛される指標は不明であり、この句は自由である。一方、活性弧というのは、何らかの範疇を要求している弧のことであり、HPSG の場合、空でない下位範疇化素性や空でない指定子素性を持っている句に類似している。ここでは、束縛素性については議論しない。活性弧が束縛される指標として、活性弧が要求している範疇の最初の引数を考えればよかったから、HPSG の場合は、ある句が現在要求している句が持っている ARGS 素性の最初の引数を選択すればよいことになる。ある句が現在どのような句を要求しているかは、下位範疇化素性と指定子素性の状態によって変化する。指定子構造に対する文法規則が空の下位範疇化素性を持つ主辞に対してのみ適用されると仮定すると、以上の考察は次のようにまとめることができる。

(1) 下位範疇化素性が空でないならば、この素性の最初の要素の ARGS 素性を取り出す。ARGS 素性の最初の要素を A とするとき、A が具現化されていれば、この句は指標 A に束縛されるし、A が具現化されていないならば、この句は自由である。

(2) 下位範疇化素性が空で、指定子素性が空でないならば、指定子素性の最初の要素の ARGS 素性を取り出す。ARGS 素性の最初の要素を A とするとき、A が具現化されていれば、この句は指標 A に束縛されるし、A が具現化されていないならば、この句は自由である。

(3) 下位範疇化素性と指定子素性がともに空のときはこの句は不活性弧に相当する。したがって、ARGS 素性の最初の要素を A とするとき、A が具現化されていれば、この句は指標 A に束縛されるし、A が具現化されていないならば、この句は自由である。

たとえば、図 6 の (a) において、SUBCAT 素性は 2 個の要素を持ち、最初の要素の ARGS 素性は $\langle a, b \rangle$ である。このリストの最初の要素は a だから、この句は指標 a に束縛される。また、同図の (b) において、SUBCAT 素性は空であるが、SPEC 素性が 1 個の要素を持ち、この要素の ARGS 素性は $\langle a, b \rangle$ である。したがって、この句は指標 a に束縛される。さらに、同図の (c) において、SUBCAT 素性と SPEC 素性はともに空であるが、ARGS 素性が $\langle a, b, c \rangle$ であり、この句は指標 a に束縛される。

5. 実験とその評価

指標を利用しない場合と利用する場合とについて、空間的概念事象 [10] を含んだ意味表現からの文生成実験を行なった。対象言語は英語であり、50 個程度の語彙記載項目を持つ小さな辞書を使用した。文法規則数は 5 個である。実験は 17 個の意味表現を用意し、これを入力として英文を得ると

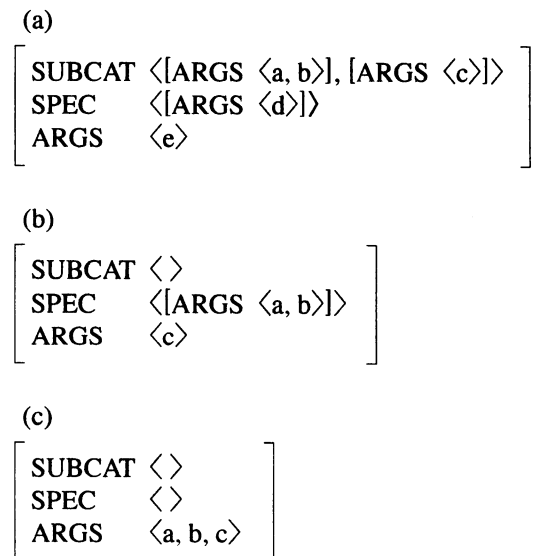


図 6 HPSG における指標の選択例

いうものである。実験結果を表2に示す。相互作用回数というのは、句と句の間の相互作用が何回生じたかを表すものであるが、平均すると、指標を使用した場合の相互作用回数は、使用しなかった場合の相互作用回数の60パーセント程度で済むことが分かった。

6. おわりに

HPSGの意味論として心像意味論を使用した場合の文生成システムについて述べた。文生成実験を行ない、指標を使用した場合の結合試行回数が、そうでない場合の平均60パーセント程度で済むことが明らかになった。しかしながら、今回の方法は句と句の間の相互作用の回数を減らしても、不必要な部分生成木を抑制することはできない。たとえば、表2の文17を生成するのに必要な相互作用の回数は指標を使用しても2085回にもなり、さらなる減少が望まれる。Kayは不必要な部分生成木を抑制するために内部指標[7]という考え方を導入している。今後、本研究のシステムにも内部指標の考え方などを導入して、部分生成木を抑制できるようにする予定である。

参考文献

[1] 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, 人工知能学会研究会資料, FAI-8802, 1988.
 [2] D.R. Dowty, R.E. Wall, and S. Peters: Introduction to Montague Semantics, D. Reidel, Dordrecht, 1981.

[3] J. Barwise and J. Perry: Situations and Attitudes, MIT Press, Cambridge, 1983.
 [4] C. Pollard and I.A. Sag: Head-Driven Phrase Structure Grammar, The University of Chicago Press, Chicago, 1994.
 [5] 笠 晃一, 弘中大介, 天野幹郎, 横田将生: 心像意味論を組み込んだHPSGによる意味解析システム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-II, No.3, pp.475-482, 2002.
 [6] S. Shieber, G. van Noord, F. Pereira, and R. Moore: Semantic-head-driven generation, Computational Linguistics, vol.16, no.1, pp.30-42, 1990.
 [7] M. Kay: Chart Generation, Proc. 34th Annual Meetings of the ACL, pp.200-204, Santa Cruz, USA, 1996.
 [8] S. Shieber: The problem of logical form equivalence, Computational Linguistics, vol.19, no.1, pp.179-190, 1993.
 [9] A. Copestake, D. Flickinger, C. Pollard, and I.A. Sag: Minimal recursion semantics - An introduction, Stanford University and Ohio State University, 1999.
 [10] 横田将生, 弘中大介, 笠 晃一: マルチメディア統合理解のための空間的事象概念の体系的分析及び記述, 信学技報, TL99-26, pp.1-10, 1999.

表2 指標を使用しなかった場合と使用した場合の相互作用回数

番号	生成文	相互作用回数 (指標不使用)	相互作用回数 (指標使用)	作業比率 (%)
1	the lamp hangs	116	86	74.1
2	the red lamp hangs	196	141	71.9
3	the lamp hangs above the chair	362	233	64.4
4	the red lamp hangs above the chair	550	338	61.5
5	the red lamp hangs above the black chair	818	470	57.5
6	the lamp is above the chair	362	233	64.4
7	the chair is 3 m to the left of the box	555	352	63.4
8	the black chair is 3 m to the left of the box	839	508	60.5
9	the black chair is 3 m to the left of the red box	1345	769	57.2
10	the chair is between the lamp and the cat	789	485	61.5
11	the black chair is between the lamp and the cat	1071	627	58.5
12	the flower-pot, the chair and the box are in-a-line	726	451	62.1
13	the cat is under the chair which is under the lamp	1495	833	55.7
14	the black cat is under the chair which is under the lamp	2065	1073	52.0
15	the cat is under the black chair which is under the lamp	2290	1231	53.8
16	the cat is under the chair which is under the red lamp	2020	1075	53.2
17	the black cat is under the black chair which is under the red lamp	4411	2085	47.3
			平均	59.9