

漸進的な英日話し言葉翻訳システムにおける チャートに基づく変換手法

浅井 悟 松原 茂樹 外山 勝彦 稲垣 康善

名古屋大学大学院工学研究科計算理工学専攻

{asai,matu,toyama,inagaki}@inagaki.nuie.nagoya-u.ac.jp

概要

本稿では、著者らが提案してきた漸進的な話し言葉翻訳システムにおける英日変換処理について報告する。このシステムは、解析処理及び変換処理の2つの過程から構成されており、連続的に入力される英語音声に対して、それらが同期的に、できる限り語単位で処理を実行する。解析処理は漸進的なチャート法に基づいており、英語単語が入力されるたびに随時、新たなチャートを形成するが、構文的に曖昧でない文に対してもその解析途中の段階では多くの弧が作成されるため、文を単位とする翻訳システムに比べ、変換処理対象の選択肢の数が増大する。そこで本稿では、誤った弧が選択された場合でも、それが判明した時点で、それまでに生成された日本語を適切に訂正する手法について述べる。すなわち、システムは言い誤りに対して言い直しを活用することにより正しい翻訳結果を作り上げる。本手法によれば、特別な手続きを用いることなく自然な方法で言い直しを生成することができる。

English-Japanese Transfer Processing in an Incremental Speech-to-Speech Translation System

Satoru ASAI, Shigeki MATSUBARA, Katsuhiko TOYAMA
and Yasuyoshi INAGAKI

Department of Computational Science and Engineering,
Graduate School of Engineering, Nagoya University

{asai,matu,toyama,inagaki}@inagaki.nuie.nagoya-u.ac.jp

ABSTRACT

This paper describes English-Japanese transfer processing in the incremental spoken language translation system which the authors have proposed so far. The system is composed of two processes, chart-based parsing and transfer, which execute possibly word-by-word synchronously with the input of English speech. This paper provides a method of correcting the erroneous Japanese expressions which the system produces by failing in the choice. That is to say, the system makes correct translation results by repairing the errors. According to the method, various repairs can be produced in a natural way.

1 はじめに

計算機を用いた効率的な話し言葉翻訳の実現のため、同時通訳のように振舞うシステム、すなわち、原言語話者の発声途中でも随時、対応する目的言語表現を生成可能な変換処理技術が求められている [5]。そのような背景のもと、漸進的な音声翻訳システムの実現を目的とした研究がこれまでにいくつかなされている [1, 8, 14]。しかし、それらの手法においては、原言語と目標言語との間の語順の違いにより結果的に出力の入力に対する同期性が損なわれたり、節が翻訳単

位となることにより翻訳処理の漸進性が低下する、などの問題がある。これに対して著者らは、英語話者の発話をできる限り語単位で変換することにより、英語音声とほぼ同時進行的に日本語音声を生成する漸進的な話し言葉翻訳システムについて研究を進めている。英語と日本語とでは語の生起順序が異なるため、原言語の入力に対して即座に対応する目的言語を出力することは一般には困難であるものの、日本語話し言葉に頻繁に現れる繰り返し、省略、語順の逆転などの文法的不適格表現を積極的に活用することにより、漸進的な話し言葉翻訳処理を実現できる [9]。

ところで、これまでに著者らが開発したシステムは、解析処理ならびに変換処理の2つの処理過程から構成されており、それらが英語音声の入力に対して同期的に処理を実行する。解析処理は漸進的なチャート解析法 [12] に基づいており、新たな語が入力されるたびに変換処理可能な弧を作成する。しかし、英語文の入力途中の段階では、完全な構文構造を決定するための情報は当然ながら不足しており、またそれらを正確に予測することは困難であるため、解析途中の段階で多くの弧が作成される。このことは、文を単位とする翻訳システムに比べ、変換処理対象の選択肢の数が增大することを意味している。漸進的な話し言葉翻訳システムの場合、即時処理を指向している以上、複数の選択肢の中から敢えて一つを選び、それに対して変換処理を実行することが不可欠である。このため、弧の選択を誤る場合があり、その結果、翻訳に失敗する [10]。この問題に対して我々は、たとえ誤った弧が選択された場合でも、それが判明した時点で、それまでに生成された日本語を正しく言い直すことにより、適切な翻訳結果を作り上げる手法を提案している [2]。

そこで本稿では、漸進的な英日変換処理において言い直しを実現する方法について述べる。本手法によれば、語が入力されるたびに通常の変換処理を実行しさえすればよく、言い直しを実現するために特別な処理手続きを用いる必要はない。すなわち、語が入力されるたびに作成される弧の中から一つを選択し、それに対して変換規則を適用することにより、言い直しを生成することができる。なお本稿では、自然な言い直しを行うために言い淀みを効果的に生成すること、ならびにその生成方法についても述べる。

2 漸進的な英日変換処理

本章ではまず、これまで開発してきたシステムの概要について述べ、それを構成する変換処理手法、ならびにその問題点と対策を明らかにする。

2.1 漸進的な英日話し言葉翻訳システム

漸進的な英日話し言葉翻訳システムの構成を図1に示す [11]¹。システムのメインモジュールは解析処理と変換処理であり、それらが英語音声入力に対して同時進行的に処理を実行する。

解析処理では、漸進的なチャート法 [12] に従って英語単語が入力されるたびに処理を実行する。この解析手法は基本的には、到達可能性を用いた上昇型チャート解析法をベースとしているが、以下の2つの特徴を備えている点が通常と異なっている。

特徴 1 ラベル0が付加された節点(以下、節点0という)と、それを始点及び終点とし、項[?]がラベル

¹音声入力に対して漸進的に語を決定する音声認識技術は今のところ確立されておらず、我々のプロトタイプシステムにおいても音声認識システムの実装には至っていない。

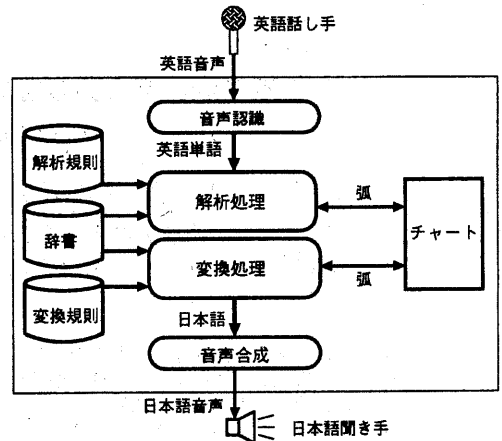


図1: 漸進的な英日話し言葉翻訳システムの構成

として付加された活性弧(以下、項[?]の活性弧という)とからなる有向グラフを初期状態とする。

特徴 2 活性弧に対して文法規則を適用し新たな活性弧を作成する操作、活性弧に付加した項の最左未決定項を別の活性弧の項で置き換える操作、を導入する。

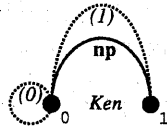
このような特徴により、漸進的なチャート法は上昇的な側面と下降的な側面を併せもった解析アルゴリズムとなっている。また、この解析手法に従えば、変換処理可能な弧、すなわち、文法的に適格な長さ n の自然言語文 $w_1 w_2 \dots w_n$ において語 w_i が入力されたとき、節点0と節点 i をそれぞれ始点と終点とする範疇 s の弧を、任意の i に対して少なくとも一つ作成することができる。

なお、構造トランスファー方式に基づく機械翻訳システムは、解析処理、変換処理、生成処理という3つの過程から構成されるのが標準的である²。しかし、漸進的な翻訳処理では語が入力されることに目的言語を生成することを基本とするため、出力する文を適切に整えることを主要目的とする生成処理の存在は必ずしも不可欠というわけではない。そのため本研究では、システムの見通しをよくするため、英語構造から日本語表現への変換処理を設計した。

2.2 変換処理の手法

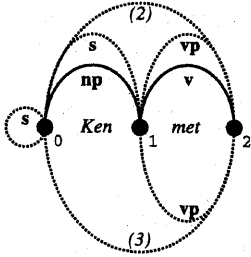
変換処理では、チャートの弧に付加された項に対して変換規則を下流的に順次適用することにより、日本語表現を生成する。システムには、一つの文法規則に対して一つの変換規則が存在するため、ある項に適用

²実際、我々の従来の実験システムでは、英語入力文を解析するモジュール、英語構造を日本語構造に変換するモジュール、日本語構造から文字列を生成するモジュールが組み込まれていた [10]。



- (0) [?]s
 (1) [[Ken]_{np}[?]vp]s

図 2: 語 “Ken” が入力された時点でのチャート



- (2) [[?]np[[met]v[?]np]vp]s
 (3) [[?]np[[met]v[?]np][pp]vp]s

図 3: 語 “met” が入力された時点でのチャート

すべき変換規則について曖昧性が生じることはない。ただし、文を翻訳単位とする通常の変換処理とは、以下に挙げる3つの点で異なっている [10]。

まず第一に、漸進的な変換処理の対象は多くの場合、活性弧に付加された項、すなわち、未決定項を含んだ項であるという点である。例えば、英語文

(2.1) Ken met her aunt in the park.

において、語 “Ken” が入力された時点での処理すべき項は図2の項 (1) であり、未決定項 [?]vp を含んでいる。一般に項の中の最左未決定項から右側の部分は未入力であるため、項の左から右への順で変換処理を実行し、変換すべき項が未決定項となった時点で処理を終了する。

第二に、解析処理では語が入力されるたびに段階的に英語入力文に対するチャートを作成するが、変換処理は随時実行されるため、一度変換された原言語部分に対しては、もはや変換処理を実行する必要がないという点である。例えば、項 (1) に対する変換処理の結果、「ケン」が生成される。次に、語 “met” が入力されると、例えば項 [[Ken]_{np}[[met]_v[?]np]vp]s が作成される。ここで通常の方法で変換処理を実行すると、「ケンは会った。」となり、「ケン」の部分が前の生成結果と重複して出力されることになる。これを避けるために本手法では、変換規則がすでに適用された英

語表現を記号 “!” で置き換える操作を導入した。これにより、語 “met” に対する解析処理により作成される項は、例えば図3の(2)のようになる。部分項 [!]np に対しては何も生成されないため、変換処理による出力結果は「会った。」となり、生成される目的言語表現が重複することがなくなる。

最後に、漸進的な英日変換処理では、英語発声と同期した日本語生成を実現するために、日本語翻訳結果に文法的不適格表現を活用している点である。英語と日本語とは、語の生起順序が大きく異なるため、翻訳処理の高度漸進性を維持することは難しい。(2.1) に対する標準的な日本語翻訳文は、

(2.2) ケンは公園で彼女の叔母に会った。

であるが、“park” が入力された後でないと「公園で」以降を生成することができず、その結果、入力との同時進行性が損なわれる。このため本手法では、繰り返して、省略、語順の逆転などの非文法的表現を含んだ日本語文を話し言葉翻訳システムの翻訳結果として活用する [9]。これらの表現は実際の日本語会話において頻繁に出現することから、たとえシステムがそのような表現を含む日本語音声を出力したとしても、ユーザはそれを容易に理解できると考えられる。システムは、(2.1) に対する翻訳結果として、

(2.3) ケンは会った。彼女の叔母に公園で会った。

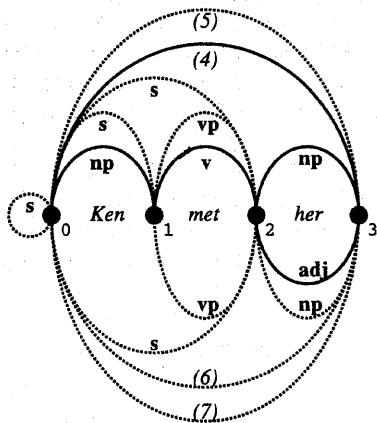
を生成する。(2.1) との各構成要素間の対応関係を考慮すると、日本語文 (2.3) を同期的に生成できることがわかる。すなわち、(2.3) は、「会った」が繰り返されている、第1文における「会った」の対象が省略されている、「彼女の叔母」と「公園で」の生起順序が逆転している、の3点において(2.2)とは異なるものの、(2.1)の意味内容を正確に表現している。このような翻訳処理を可能とするために、これらの表現の活用方法を変換規則の中にすべて記述する。

2.3 変換処理対象の選択

漸進的な話し言葉翻訳処理においても、一般の機械翻訳システムと同様、構造的に曖昧な入力文に対して作成される複数の構文構造から、どれを変換処理対象とすべきかという問題が存在する。さらに、漸進的処理の場合、構文構造の選択を入力途中でも行う必要があるため、それは一層困難な問題となる。例えば、英語文 (2.1) は1文としてみた場合、構造的曖昧性は存在しないと解析できるが、

(2.4) Ken met her

が入力された段階では、図4に示すようにそれぞれ変換処理可能な項 (4)-(7) が付加された4つの弧が作成される。このときシステムは、翻訳の即時性を満たすために、これらの中から敢えて一つの弧を選択し、それに付加された項に対して変換処理を実行する必要がある。ここで、項 (7) の弧が選択されれば問題は生じないが、項 (6) の弧が選択された場合、変換処理に



- (4) $[[[]_{np}[[met]_v[her]_{np}]_{vp}]_s$
- (5) $[[[]_{np}[[met]_v[[her]_{adj}[?]_n]_{np}]_{vp}]_s$
- (6) $[[[]_{np}[[?]_v[her]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$
- (7) $[[[]_{np}[[?]_v[[her]_{adj}[?]_n]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$

図 4: 語“her”が入力された時点でのチャート

より「彼女に」が生成され、それまでに生成された日本語は、

(2.5) ケンは会った。彼女に

となる。次に、“aunt”が入力されると項(6)が付加された弧を用いて新たな弧を作成することはできず、その結果、解析失敗となり、同時に翻訳失敗でもある。2.1節で示したように、漸進的な解析処理を可能にするために、通常のチャート法に対して新たな操作を導入したが、操作が増えたことにより当然、作成される弧も増加するため、弧の選択の決定はさらに重要な問題となる。これに対する解決方法として、

方法(1) 正しい構文構造を表現している可能性が最も高い弧を選び出す方法、及び、

方法(2) 弧の選択を誤ることにより生成された間違っただ翻訳結果を訂正する方法、

が考えられる。これに対して我々は、方法(2)として、日本語会話文においてかなり頻りに現れる言い直し表現を活用することにより、正しい翻訳結果を作り出す手法を提案している[2, 11]。“her”が入力された段階で図4の項(6)の弧が選択され、「彼女に」が生成されたとしても、それ以降の入力内容にしたがって、「彼女に」を「彼女の叔母に」と言い直すことにより、

(2.6) ケンは会った。彼女に、彼女の叔母に公園で会った。

となり、適切な翻訳結果を生成することができる。

3 言い直しを活用した英日変換処理

本章では、前節で述べた言い直しについてその実現方法を説明する。また、言い直しをより自然に行うための方法についても言及する。

3.1 変換処理の対象

自然言語文 $w_1 w_2 \dots w_n$ において語 w_i が入力されたときに変換処理可能な弧は、語 w_{i-1} が入力されたときに変換処理可能であった弧、すなわち、節点0と節点 $i-1$ を結び、範疇 s の項が付加された弧と節点 $i-1$ と節点 i を結ぶ弧を用いて作成される。例えば、英語文(2.1)において語“her”が入力された時点での変換処理可能な弧は、図4に示す(4)-(7)の項でラベル付けられた4つの弧であり、それらはいずれも図3における項(2)の弧または項(3)の弧から作成される。

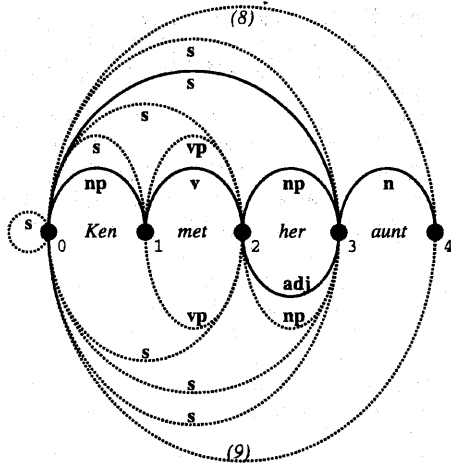
基本的には、語 w_i が入力された時点で変換処理のために選択されるべき弧は、語 w_{i-1} の入力において選択された弧を用いて作成されている必要がある。もしそうでない弧を選択すると、語 w_{i-1} の入力時点と語 w_i の入力時点とは、異なった構文構造に対する変換結果が生成されることになり、その結果、一貫性のない日本語翻訳文が作り上げられることになるからである。このため本手法では、語 w_i が入力された時点での変換処理の対象となった弧を w_i における対象弧と呼び、それ以外の弧と区別する。すなわち、語 w_i における対象弧は、語 w_{i-1} における対象弧を用いて作成される必要がある。例えば、語“her”における対象弧が図4における項(7)の弧であるならば、語“aunt”における対象弧は、図5における項(9)の弧である。なお、すべての語が未入力である時点における対象弧は、図2の項(0)が付加された弧である。

3.2 言い直しの実現方法

語 w_{i+1} の解析では、語 w_i における対象弧を用いて新たな弧を作成するが、弧が複数個作成される、あるいは、一つも作成されない場合がある。

複数個作成された場合には、その中から一つの弧を選択し、それを対象弧とする必要がある。例えば、英語文(2.1)の語“met”における対象弧が図3の項(3)の弧であるならば、語“her”における対象弧を図4の項(6)の弧と項(7)の弧のいずれかから一つを選択する必要がある。この選択方法については、本章の冒頭でも述べたように、そのための有効な戦略が重要となるが、本稿ではこれについては触れない。

一方、一つも作成されない場合、上述した方法で翻訳処理を続けることが不可能となる。これは、それまでに選択された対象弧が原言語文の正しい構文構造を表現していなかったことを意味しており、別の弧を選択する必要がある。例えば、図4において語“her”の対象弧として項(6)の弧が選択されたとする。このとき、それまでに生成された翻訳結果は(2.5)となる。



- (8) $[[[[_{np}[[met]_v[[her]_{adj}[aunt]_n]_{np}]_{vp}]_s]$
 (9) $[[[[_{np}[[[_{v}[[her]_{adj}[aunt]_n]_{np}]_{pp}]_{vp}]_s]$

図 5: 語 “aunt” が入力された時点でのチャート

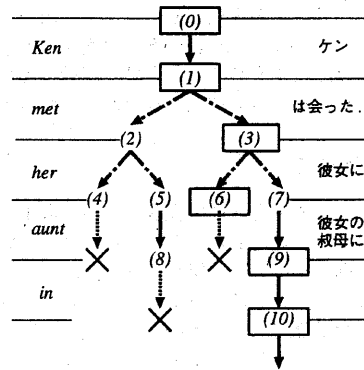
しかし、次に語 “aunt” が入力されたときに、項 (6) の弧を用いて新たに弧を作成することはできない。このため、項 (7) の弧を用いて作成された図 5 の項 (9) の弧を語 “aunt” における対象弧として選択する。

さて、新たに選択された弧に対して、変換処理では通常通り変換規則を適用することにより処理を続行する。この例の場合、項 (9) に対する変換処理の結果、「彼女の叔母に」が生成される。この時点までに生成されている翻訳結果は

(3.1) ケンは会った。彼女に、彼女の叔母に
 であり、適切な言い直しが行われることがわかる。その後に入力される表現 “in the park” に対しても、この対象弧を基に解析を進めることにより、最終的に (2.6) の日本語文を作り上げることができる。このように本手法を用いれば、特別な処理手続きを用いることなく、対象弧に対して通常の変換処理を実行することにより、適切に言い直しを生成することができる。

これまでに説明した言い直しの生成例について、各入力に対する対象弧の移り変わりを図 6 に示す。上から下への順序は時間的な順序を示しており、左側には入力された英語単語が、右側には出力された日本語が記されている。中央のグラフでは、矢印の始点の項を用いて終点の項が作成されたことを表している。また、四角で囲われた項は、各入力単語において対象弧に付加された項を示している。

この図から、語 “her” の時点で項 (3) を用いて項 (6) と (7) が作成され、(6) の弧が対象弧として選択されたものの、語 “aunt” の時点で解析に失敗したため、(9) の弧が対象弧として選択されたことがわか



- (10) $[[[[_{np}[[[_{v}[[[_{adj}[_{n}]_{np}][[?n]_{pp}]_{vp}]_s]$

図 6: 変換処理対象の変遷

る。項 (9) は、語 “met” の入力時点における対象弧の項 (3) から派生しているため、表現 “Ken” と “met” はすでに記号 “!” に置き換えられている。一方、語 “her” の時点での項 (7) は対象弧の項ではなかったため、英語表現 “her” は項 (9) の中に残されている。これにより、「彼女の叔母に」という適切な言い直しが可能になっている。このように、記号 “!” での置き換え操作により、すでに生成された日本語文と照合するなどといった処理を行うことなく、シンプルな枠組のもとで必要十分な言い直し表現の生成を実現できる。

3.3 言い淀みの活用

前節までに、漸進的な話し言葉翻訳システムにおいて言い直しを活用することの効果とその実現方法について述べた。しかし、システムは単に正しい結果を生成しさえすればよいわけではなく、異なる言語を用いるユーザ間での円滑なコミュニケーションの推進に効果的な音声出力が求められる。そのためにシステムは、ただ単に言い直すだけでなく、例えば何らかの談話標識を発声することにより、システムによる言い直しの発声を聞き手に予測させることが考えられる。そのような標識として言い淀みがあり、これは話し手の行う何らかの心的操作を聞き手に示す役割を果たしている [16]。実際、言い淀み「あの一」は、話し手が適切な言い直しを模索しているときに用いられる [15]。したがって、例えば言い淀み「あの一」を生成することにより、言い誤りにより遮断されかかった話し手と聞き手とのインタフェースを、言い直しを開始するまで一時的に保持できる可能性がある。

(3.3) ケンは会った。彼女に、あの一、彼女の叔母に公園で会った。

システムは、上述したような言語学的知見、ならびに

対話コーパスによる調査に基づき、言い淀みを効果的に活用した、より自然な言い直しを実現する。なお、言い淀みを生成するタイミングは、解析処理において対象弧から弧が一つも作成されなかった時点である。

4 おわりに

本稿では、著者らが研究開発している漸進的な話し言葉翻訳システムにおける英日変換処理について報告した。漸進的なチャート解析処理の途中で、変換処理の対象となる弧が複数生成されたときに、それらの中から誤った弧を選択すると翻訳に失敗するという問題に対して、言い直しを活用することにより正しい翻訳結果を作り上げることができる。本稿では、そのような言い直しを実現する方法について述べた。また、自然な言い直しを実現する方法についても検討した。すでに実施したプロトタイプシステムを用いた話し言葉翻訳実験では、言い直しを用いないときに34.5%であった翻訳正解率が、言い直しを活用することにより82.0%に著しく向上しており、本手法の有効性を確認している[11]。

本研究では、音声入力に対して高度に即時的な翻訳処理を実行するシステムの開発を目標としているが、変換処理の単位が語である必然性は必ずしもない。実際、同時通訳者による発声のタイミングを観察しても、音声入力に対してある程度遅れが存在していることは明らかである。翻訳処理における漸進性の度合と翻訳精度との間にはトレードオフが存在すると考えられ、より品質の高い話し言葉翻訳を実現するためには、語単位からそれ以上に翻訳の単位を緩めることは1つの方法である。しかし、その単位(例えば、句など)をどのように設定するかについては今のところ有用な知見がなく、同時通訳者が用いている方法を参照するなど、今後、検討を要する課題となっている。

本稿では、効果的な音声翻訳システムの実現を目的として、音声の出現に関する連続的な性質に焦点をあて、漸進的な変換方式を中心に論じてきたが、それ以外に解決すべき問題として音声言語に頻出する文法的不適格文への対処方法があげられる[4]。非文解析については従来から数多くの研究が行われており、1文が入力されたときに誤りを修正する方法についてはすでにいくつか提案されている[6, 13]。しかし、漸進的な翻訳処理では、入力に対して即時的に翻訳結果を生成するために、入力途中で生じる不適格性に対してできる限り早い段階で誤りを修正する必要がある[7]。これについては現在検討を進めており、その結果については稿を改めて報告したい。

参考文献

- [1] Amtrup, J.W.: Chart-based Incremental Transfer in Machine Translation, *Proc. of 6th Int. Conf. of Theoretical and Methodological Issues in Machine Translation*, pp. 131-138 (1995).
- [2] 浅井 悟, 松原 茂樹, 稲垣 康善, 外山 勝彦: 言い直しを用いた漸進的な英日翻訳手法, 人工知能学会第11回全国大会講演論文集, pp. 360-363 (1997).
- [3] 江原, 井ノ上, 幸山, 長谷川, 庄山, 森元: ATR対話データベースの内容, テクニカルレポート TR-I-0186, ATR自動翻訳電話研究所 (1990).
- [4] 飯田 仁, 古瀬 蔵: 音声言語の翻訳機構と多言語翻訳実験, 情報処理学会第53回全国大会講演論文集(2), pp. 75-76 (1996).
- [5] Inagaki, Y. and Matsubara, S.: Models for Incremental Interpretation of Natural Language, *Proc. of 2nd Symposium on Natural Language Processing*, pp. 51-60 (1995).
- [6] 加藤 恒昭: 一般化弧を用いたA*探索による非文の解析, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.10, pp. 2343-2352 (1995).
- [7] 加藤 芳秀, 松原 茂樹, 浅井 悟, 外山 勝彦, 稲垣 康善: 話し言葉における文法的不適格文に対する漸進的翻訳手法, 情報処理学会第55回全国大会講演論文集(2), pp. 43-44 (1997).
- [8] Kitano, H.: Incremental Sentence Production with a Parallel Marker Passing Algorithm, *Proc. of 13th Int. Conf. on Computational Linguistics*, pp. 217-222 (1997).
- [9] Matsubara, S. and Inagaki, Y.: Utilizing Extra-Grammatical Phenomena in Incremental English-Japanese Machine Translation, *Proc. of 7th Int. Conf. of Theoretical and Methodological Issues in Machine Translation*, pp. 131-138 (1997).
- [10] Matsubara, S. and Inagaki, Y.: Incremental Transfer in English-Japanese Machine Translation, *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol. E80-D, No. 11 (1997).
- [11] Matsubara, S., Asai, S., Inagaki, Y. and Toyama, K.: Incremental Spoken Language Translation Utilizing Grammatically Ill-formed Expressions, *Proc. of 3rd Conf. of Pacific Assoc. for Computational Linguistics*, pp. 188-194 (1997).
- [12] 松原 茂樹, 浅井 悟, 外山 勝彦, 稲垣 康善: 漸進的な話し言葉翻訳のためのチャート解析法, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, p. 555 (1997).
- [13] Mellish, C.S.: Some Chart-Based Techniques for Parsing Ill-Formed Input, *Proc. of 27th Conf. of Assoc. for Computational Linguistics*, pp. 102-109 (1989).
- [14] 美馬 秀樹, 古瀬 蔵, 飯田 仁: 同時通訳システムの実現に向けた漸進的翻訳処理, 情報処理学会第54回全国大会講演論文集(2), pp. 11-12 (1997).
- [15] 定延 利之, 田窪 行則: 談話における心的操作モニター機構, 言語研究, Vol. 108, pp. 74-93 (1995).
- [16] 田窪 行則: 音声言語の言語学的モデルをめざして, 情報処理, Vol. 36, No. 11, pp. 1020-1026 (1997).