発話音声に基づく身体的インタラクションロボットシステム*

渡辺 富夫^{*1}, 大久保 雅史^{*1}, 小川 浩基^{*1}

An Embodied Interaction Robots System Based on Speech

Tomio WATANABE^{*2}, Masashi OKUBO and Hiroki OGAWA^{*2} Okayama Prefectural University, Dept. of System Engineering,
111 Kuboki, Soja, Okayama, 719-1197 Japan

The concept of a speech driven embodied interaction robots system is proposed for assisting human interaction by generating the motions of robots coherently related to speech. For an essential human interaction model which estimates a listener's nodding on the basis of a speaker's burst-pause of speech, the validity of a moving-average (MA) model is demonstrated in the robustness of prediction. Then, the prototype of the proposed system which consists of 2 InterRobots with both functions of speaker and listener is developed in which two models are incorporated: one is a listener's reaction model in which nodding, blinking and the motions of head, arms and body are estimated by the MA model of the burst-pause of speech to nodding; the other is a speaker's bodily reaction model in which the motions of head, arms and body are estimated by its own MA model of the burst-pause of speech to the head motion. By the sensory evaluation and behavioral analysis in human-robot interaction, the effectiveness of the InterRobot's bodily interaction is demonstrated. The effectiveness of the embodied interaction robots system is also confirmed in remote communication.

Key Words: Human Engineering, Human Interface, Robot, Human Interaction, Embodied Interaction, Entrainment

1. はじめに

人は、単に言葉だけでなく、頷きや身振りなど身体によるリズムを共有して、互いに引き込むことで、コミュニケーションしている^{(1)~(3)}。この身体性の共有こそが、一体感を生み、人とかかわりを実感させている。人とかかわるシステム開発には、この引き込み原理の導入が不可欠である。

著者らは、これまでに話し手の音声に対する聞き手の頷き・瞬き反応の引き込み現象を定量化する分析手法を確立し、システム論的にモデル化して、音声入力に対する頷き反応システムを開発し、その有効性を示した⁽⁴⁾。この頷き反応モデルについては電子メディアだけでなく、物理メディアのロボットにも導入され、その有効性が確認されている^{(5),(6)}。また対話インタフェースとして電子メディアよりも対話者と実空間を共有するロボットの有効性が示されている⁽⁷⁾。さらに著者らは、対話者のノンバーバル情報(頷き、瞬き、視

線、身振り、韻律など)と生体情報(呼吸など)を加えることによって、身体的コミュニケーションを合成的に解析するための身体的バーチャルコミュニケーションシステムを提案し、コミュニケーションにおいて対話者相互の身体性を共有することの重要性を指摘した^{(8),(9)}。

本論文では、コミュニケーションを支援する物理メディアとしてのロボットに着目して、発話音声に基づいて身体全体で反応するインタラクションロボットによる身体的コミュニケーションシステムのコンセプトを提案し、プロトタイプを開発して、システムの有効性を示している。具体的には、まず音声の ON-OFF 時系列に基づいて頷き反応を推定するモデルについてヒューマンインタラクションにおける MA (Moving-Average) モデルの妥当性を示している。次に MA モデルを用いた発話音声に基づく聞き手の身体反応モデルと話し手の身体動作モデルを提案している。さらに本モデルをインタラクションロボットに導入して、発話音声に基づいて身体全体でインタラクションすることの有効性を示している。最後に 2 体のインタラクションロボットを用いて身体的インタラクションロボットシステムを構築し、遠隔コミュニケーションでのシ

* 原稿受付 1999 年 8 月 20 日。

^{*1} 正員, 岡山県立大学情報工学部 (〒719-1197 総社市窪木 111)。

E-mail: watanabe@cse.oka-pu.ac.jp

システムの有効性を確認している。

2. 音声に基づくインタラクションロボットシステムのコンセプト

発話音声に基づいて人のコミュニケーションを支援する身体的インタラクションロボットシステムのコンセプトを図1に示す。ここで2体のインタラクションロボット(InterRobot: インタロボットと命名)には、対話者の発話音声に基づいて身体動作を生成する引き込みのメカニズムが導入されており、各々が話し手と聞き手の両方の機能を備えている。まず対話者1がInterRobot1に語りかけると、その発話音声に基づいてInterRobot1が聞き手として傾き・瞬きや身振りなど身体全体で反応することで、対話者1は円滑に話すことができる(図1(a))。その音声はネットワークを介してInterRobot2に送信される。InterRobot2は、その音声時系列に基づいて話し手としての身体動作をその音声に関連付けて生成し、音声と身体動作を同時提示することで音声情報に込められた思いを効果的に対話者2に伝達することができる(図1(b))。対話者2は、今度は聞き手役のInterRobot2と話し手役のInterRobot1を介して音声を発信し、対話者相互にこれを繰り返すことでコミュニケーションを実現する(図1(c))。本システムで送受信する情報は発話音声のみである。本システムは、発話音声に基づいて、音声情報に含まれた身体性を対話時の音声と身体動作との関連性から生成し、InterRobotに表現させることで、対話者相互の身体性の共有を支援するものである。

Fig.1 Concept of the embodied interaction robots system based on speech.

3. 音声の ON-OFF に基づく傾き反応モデル

著者らは既に音声の ON-OFF に基づく傾き反応モデルを提案し、システムを試作して有効性を示してき

た⁽¹⁰⁾。このモデルは、呼気段落区分での音声の ON-OFF パターンを特徴づける時間率[平均 ON 区間 / (平均 ON 区間 + 平均 OFF 区間)]の線形結合で傾きを区間推定するマクロ層と、その区間で傾きの開始点を音声の ON-OFF 時系列の線形結合で推定するミクロ層からなる階層モデルで、いずれの階層も MA モデルを用いている。しかし、二つのサブシステムからなる線形フィードバックシステムの解析では、MA モデルよりも自己にも基づく ARMA(Auto-Regressive Moving-Average)モデルの有効性が指摘されている⁽¹¹⁾。

ここでは、ミクロ層を対象にして、MA モデルと ARMA モデルを対比させて比較検討し、ヒューマンインタラクションにおける MA モデルの妥当性を示す。

3.1 対面コミュニケーション実験 対話者は予め話し手と聞き手が設定され、一方から他方への話の伝達を対象とした。実験は、一対一でテーブルを囲んでまず対面で3分間、次に対話者の視界を衝立で遮った非対面で3分間を2セット繰り返して行い、対話者の各々の表情を2台のカメラでビデオ編集システム(SONY FXE-100)を用いて画面を2分割して音声とともに収録した。話し手は学部4年男子学生3人で、聞き手は学部3年男子学生1人である。ここで聞き手を1人に固定したのは、語りかけに対して聞き手が意識的に傾いた場合には、その傾き反応のタイミングに殆ど個人差がないことが確認されているからである⁽¹⁰⁾。

音声については、サンプリング周期1msで50ms(データ数50)の平均雑音レベルに12dBを加えた値をON(1)とOFF(0)の臨界値として、50msごとに150msのハングオーバー(各ON区間を150ms伸ばし、150ms以下のOFFをONに置換する操作)を施し、音声のON-OFFのデータとした。傾きについては、ビデオフレーム単位(1/30秒)で目視により傾き開始から終了までをON、それ以外をOFFとして50msの時間単位で2値化した。これら時系列のデータ間の関係については、以下の相互相関関数 $C(\tau)$ で評価した。

$$C(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} \{x(i) - \mu_x\} \{y(i+\tau) - \mu_y\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \{x(i) - \mu_x\}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \{y(i) - \mu_y\}^2}} \quad (1)$$

μ_x : 音声 $x(i)$ の平均値, μ_y : 傾き $y(i)$ の平均値

n : データ数 τ : 時間遅れ

分析対象時間はコミュニケーション中央時間の120

秒間 (データ数 $n=2,400$)、50 ms のずれ時間で最大 5 秒に設定した。

対面及び非対面での話し手の音声の ON-OFF に対する聞き手の頷きの相互相関関数の一例を図 2 に示す。対面では 0.1 秒に顕著な負の相関がみられる。これは、対面では話の区切りを予測して頷き、両者が引き込んでいることを示している。一方、非対面では頷き回数が少ないために両者に有意な相関関係はみられず、引き込みが起きにくいことがわかる。

Fig.2 Evaluation of the entrainment between a speaker's speech and a listener's nodding in face-to-face communication(FFC) and non-face-to-face communication(NFFC).

3.2 頷き反応モデルの評価 分析結果より、話の区切りを検出してから頷かせたのでは反応が遅く、頷きを予測する必要がある。ここでは、頷き $y(i)$ を音声 $x(i)$ の線形結合で予測する MA モデルと、自己の推定した頷き $\hat{y}(i)$ にも基づく ARMA モデルを用いて頷き反応の推定を行った⁽¹²⁾。

$$\hat{y}(i) = \sum_{j=1}^J a(j)x(i-j) - \sum_{k=1}^K b(k)\hat{y}(i-k) \quad (2)$$

MA モデルでは $b(k)=0$

$a(j), b(k)$: 予測係数 J, K : 予測次数

各モデルの予測次数については、AIC (Akaike's Information Criterion) を基準に選定した。誤差分布が正規分布であると仮定し、測定値の誤差の絶対的な大きさが未知の場合には、AIC は以下のように表される。

$$AIC = n \cdot \log S + 2p \quad (3)$$

n : データ数 S : 残差二乗和 p : パラメータ数

図 2 の対面について、AIC を MA モデルと ARMA モデル ($J=K$ とした) で最小二乗解析により算出した結果を図 3 に示す。MA モデルでは予測次数 $J=40$ で、ARMA では 80 ($J=K=40$) で AIC が最小であり、この次数が最適であると判断される。この次数で図 2 について各モデルの予測係数を算出し、頷き (平均頷き時間 0.85 秒に設定) を推定した結果を図 4 に示す。また、この予測係数を用いて自己の原データ (W2:話し手 W の 2 セット目) 及び W1 と他の 2 組 (R, M) の対面での頷きの推定値 $\hat{y}(i)$ と実測値 $y(i)$ との相互相関関数の最大値 $C(\tau)_{\max}$ (時間遅れ 0.5 秒以内) を図 5 に示す。この時間率はスピーチ区間での ON 区間の占める割合で、発話速度と密接な関係があり、典型的な音声の ON-OFF パラメータである⁽¹³⁾。MA モデルと ARMA モデルで自己の原データ W2 の頷きの推定結果には差異はなく (図 2 の推定結果)、他の 2 組 (R, M) に適用した場合には MA モデルの方が推定がよいことがわかる。この傾向は他の組に基づいても同様であった。

この結果は、モデル作成用入力に対しては、システ

Fig.3 AIC for MA model and ARMA model.

Fig.4 Estimation of nodding by MA model and ARMA model.

Fig.5 Maximum of $C(\tau)$, $C(\tau)_{\max}$, between the measured $y(i)$ and the estimated $\hat{y}(i)$ in FFC.

ム（実験）の出力と各モデルの出力との相互相関関数において、両モデル間で差異はないが、モデル検証用入力に対してはMAモデルの方が優れていることを示しており、モデルのパラツキを考慮したモデル集合の意味で⁽¹⁴⁾、対面コミュニケーションではMAモデルの方がロバスト性が高く、著者らが提案した音声-頷き反応モデルでMAモデルを用いた妥当性を示している。もちろんこのMAモデルだけで頷きを推定したのでは頻繁に頷きが生起するので、ON区間とOFF区間を単位ユニットとしてユニットでの時間率のMAモデルにより、そのユニットに頷きがあるか否かを推定するマクロ層を設けることで、頷きの精度が高められる。

4. インタラクションロボットシステム

4.1 InterRobot の概略 InterRobot の概略を図6に示す。ロボットは、身長が約900mmで、アクチュエータとして19本（目玉を除く）のエアシリンダを用い、自然な身体動作と機械音の抑制を実現している。各可動部はエアコンプレッサより送られる圧縮空気を動力源とし、動作速度はスピードコントローラによって調節が可能である。手首、肘部、腕部、首部、腹部、腰部の曲げ動作や目玉、まぶた、口、肩の動作はリンク構造を用いて実現し、首部、肘部の回転動作はロータリアクチュエータを用いた。

制御はパーソナルコンピュータより送られる制御信号によって行い、各アクチュエータは対応する電磁バルブを開閉することによって動作する。本システムの動作周波数は20Hzである。また各構成機器は家庭用電源AC100Vで動作する。

4.2 音声に対する話し手と聞き手の身体動作の関係 対話者の頭頂部、両腕部、腰部に付けた4個の

Part	Range of movement
Nodding	15° (bend)
Eyelid	60° (rotate)
Mouth	30mm (open)
Eyes	15° (up, down, right, left)
Neck	20° (bend, right, left), 90° (rotate)
Shoulder	60° (rotate)
Arm	45° (bend)
Elbow	60° (bend), 90° (rotate)
Wrist	60° (bend)
Waist	60° (rotate)
Abdomen	10° (bend, right, left)

Fig.6 Outline of InterRobot

磁気センサ (Polhemus FASTRAK) により、対面コミュニケーションにおける話し手の音声と話し手、聞き手の身体動作（頭部、腕部、腰部）の時系列を同時計測した結果の一例を図7に示す。但し、聞き手の頷きは、ビデオ画像から目視により計測した。これら音声と身体動作の関係を相互相関関数 $C(\tau)$ で分析した結果を図8に示す。話し手の音声と聞き手の身体動作の関係では、3章の結果と同様、話し手の音声に対して聞き手の頷きも頭部の動きも顕著に負の相関が示されている。とくに頷きと頭部の動きとの相関が高いことから、対話での聞き手の頭部の動きは頷きを主体としていることがわかる。また腕部と腰部の動きは、話し手の音声よりも聞き手自身の頭部の動きとの相関が高い。これらは、話し手の音声に対する聞き手の身体動

Fig.7 Time series of a speaker's speech, the speaker's motions and listener's motions.

Fig.8 Cross-correlation functions, $C(\tau)$, among a speaker's speech, the speaker's motions and listener's motions.

作の関係では頷きを主体とする頭部の動きとの関係が重要であることを示している。

また、話し手の音声と話し手自身の身体動作の関係では、頭部の動きが最も相関が高く、腕部と腰部の動きは話し手の音声よりも話し手自身の頭部の動きとの相関が高い。ここでも頭部の動きとの関係が重要であることがわかる。さらに音声の2値化の閾値を通常の閾値 a よりも高い閾値 A に設定したときの音声と腕部の動き（基データ Raw を閾値 B で2値化）との関係を分析した結果を図9に示す。音声と腕部の動きを高い閾値に設定した場合(A-B)に、両者の相関が高い。これは、音声と腕部の動きとは比較的高い閾値で関係付けられていることを示している。これらの傾向は対話者3組についても同様であった。

Fig.9 Evaluation of the relations between speech and arm's motion in a speaker.

4.3 聞き手としての InterRobot 図8の分析結果より、音声に対する聞き手の身体動作は、頷きを主体とした聞き手自身の頭部の動きと相関が認められる。話し手の音声に基づく聞き手の身体反応モデルとして、著者らが既に提案している話し手の音声の ON-OFF パターンに基づく頷き反応モデルと瞬き反応モデルに、頷きの予測値に基づく身体反応モデル（腕部及び上体部）を導入した。

頷きの予測には、頷き $y(i)$ を音声 $x(i)$ の線形結合で予測する MA モデルを用いた。

$$\hat{y}(i) = \sum_{j=1}^J a(j)x(i-j), \quad a(j): \text{予測係数} \quad (4)$$

瞬きの予測には、対面コミュニケーションにおける瞬き特性に基づいて、頷きと同時に瞬きさせ、頷きを基点として瞬きの時間間隔を指数分布させた⁽¹⁵⁾。これは、人が頷きと同時に瞬きすることで、無意識に目のかわきを防いでいるからである。InterRobot の頷き、瞬き時の表情を図 10(a)に示す。

身体動作の反応には頷きの予測値を用い、頷きよりも低い閾値に基づいて、頭部（首部 4 位置）に加えて各部位（腹部 4 位置、右肘 2 位置、左肘 2 位置）の 1 つを選択して動作させることで発話音声と関係付けた（図 10(b)）。即ち、聞き手としての InterRobot の身体動作の生成では、頷き反応を中心に、頷きと他の動作（頭部、腹部、肘部）との時間的關係を頷きを推定する閾値を変化させることで実現した。実現した

InterRobot の頷きと瞬きの動作（制御信号を起点として 1 回の動作時間を 500ms とした近似値）と相互相関関数で評価した結果を図 11 に示す。また InterRobot の身体動作（頭部、胴部、両腕部）を、リアルタイム 3 次元座標計測システム（応用計測研究所 QuickMAG SYSTEM III）によってサンプリング周波数 60Hz で計測した結果（50ms ごとの速度データ）及びそれらを入力音声との相互相関関数で評価した結果の一例を図 12 に示す。身体各部の動きと入力音声の相互相関関数から、InterRobot の各部位が頷きを含む頭部の動きと密接に関連して身体全体で反応していることが分かる。他の対話者の例についても同様の傾向が見られた。

対話者にマイクを通して InterRobot に話し掛けてもらい、頷きのための反応と身体全体での反応との話し易さを一対比較で官能検査した結果、男子学生 6 人全員が明確に後者を選定し、身体全体での反応が円滑なコミュニケーションに極めて有効であることが確認された。

(a) Facial expressions in nodding, blinking and speaking.

(b) Listener's action.

(c) Speaker's action.

Fig.10 Actions of InterRobot.

Fig.11 Time series of a speaker's speech and the motions of InterRobot as listener, and $C(\tau)$ between them.

4.4 話し手としての InterRobot 対面コミュニケーション実験の分析より、話し手の身体動作モデルとして、音声の ON-OFF に基づく身体動作モデルと音声の振幅に基づく腕部の動作モデルを InterRobot

Fig.12 Time series of a speaker's speech and the motions of InterRobot as listener, and $C(\tau)$ between them.

Fig.13 Time series of a speaker's speech and the motions of InterRobot as speaker, and $C(\tau)$ between them.

に導入した。話し手としての身体動作パターンの一例を図 10(c)に示す。

音声情報は、マイクからの実時間入力あるいは音声データ (WAVE 形式) を用い、スピーカから出力させた。InterRobot の口の動作は、音声の ON-OFF に対応した開閉動作で実現させた。身体動作の推定には、音声の ON-OFF による話し手の頭部動作の MA モデルを用い、頭部 (首部 4 位置) に加えて各部位 (腹部 4 位置、右肘 2 位置、左肘 2 位置) の 1 つを選択して動作させることで発話音声と関係付けた。即ち、話し手としての InterRobot の身体動作の生成では、頭部動作を中心に、頭部動作と他の動作 (腹部、肘部) との時間的関係を頭部を推定する閾値を変化させることで実現した。さらに腕部動作モデルとして、音声と腕部の動きとは比較的高い閾値で関係付けられていることから、音声の振幅に対して閾値を設け、閾値を超

えた入力があった場合、予め設定した複数パターンの腕部動作の一つを選択して動作させた。実現した InterRobot の身体動作の速度データと音声との相互相関関数で評価した結果を図 13 に示す。音声と身体各部の相互相関関数から、頭部の動きを中心に音声と両腕、及び音声と身体全体との関連性が表現できているのがわかる。

音声出力のみと話し手役の InterRobot を用いた場合について対話し易さを一対比較した結果、男子学生 6 人全員が明確に後者を選定し、話し手の音声に基づく話し手の身体動作モデルを導入した InterRobot が円滑なコミュニケーションに極めて有効であることが確認された。

4.5 身体的インタラクションロボットシステム

聞き手の身体反応モデルと話し手の身体動作モデル

との両モデルを **InterRobot** に導入することで、聞き手と話し手の両機能を有する **InterRobot** を実現した。この **InterRobot** を2体用いて、図1(c)に示したように、発話音声に基づく身体的インタラクションロボットシステムを構築した。本システムによる遠隔コミュニケーション実験の様子を図14に示す。各対話者は別室で **InterRobot** に向かって音声対話し、その発話音声は大学内 LAN の Ethernet 経路で送受信された。本システムを介して被験者に自由に対話させて官能検査した結果、3組6人の男子学生全員が対話し易いと答え、この話し手と聞き手の両機能を有する身体的インタラクションロボットシステムが円滑なコミュニケーションに極めて有効であることが確認された。

Fig.14 Remote communication by the system.

5. おわりに

本論文では、コミュニケーションにおける引き込み原理に基づいて、実体メディアとしてのインタラクションロボットによる身体的コミュニケーションシステムのコンセプトを提案した。まず対面コミュニケーションにおける呼吸段落区分での音声の ON-OFF に基づく傾き反応の推定モデルとして、MA モデルと ARMA モデルを比較検討し、ヒューマンインタラクションにおける MA モデルの妥当性を示した。次に音声の ON-OFF に基づく聞き手の身体反応モデルと話し手の身体動作モデルを導入したインタラクションロボットのプロトタイプ **InterRobot** を開発し、発話音声に基づき身体全体でインタラクションすることの有効性を示した。最後にこの話し手と聞き手の機能を有する2体の **InterRobot** を用いて身体的インタラクションロボットシステムを構築し、遠隔コミュニケーションでのシステムの有効性を確認した。

本システムは、音声の ON-OFF パターンと音量のみを入力として、身体の動きで反応・表現してインタラクションできる、ロバストで実用性の高いシステム

である。

なお、本システム開発は、著者らの研究室が提唱している、心が通う身体的コミュニケーションシステム **E-COSMIC (Embodied Communication System for Mind Connection)** の開発プロジェクトの一環で行われた。また本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の新規産業創造型提案公募事業の支援を受けている。

文 献

- (1) Condon, W.S. and Sander, L.W., Neonate Movement is Synchronized with Adult Speech: Interactional Participation and Language Acquisition, *Science*, Vol.183, pp.99-101(1974).
- (2) Kobayashi, N., Ishii, T. and Watanabe, T., Quantitative Evaluation of Infant Behavior and Mother-Infant Interaction, *Early Development and Parenting*, Vol.1, pp.23-31(1992).
- (3) 渡辺富夫, 音声対話システムにおけるヒューマン・インタフェース (引き込みを中心として), 情報処理学会研究報告, 96-HI-65, pp.27-32(1996).
- (4) Watanabe, T. and Higuchi, A., Facial Expression Graphics Feedback for Improving the Smoothness of Human Speech Input to Computers, *Advances in Human Factors/Ergonomics*, Vol.18A, pp.491-497 (1991).
- (5) Yatsuka, K., Kawabata, K. and Kobayashi, H., A Robot Listener for Fluent Verbal Communication, *Proc. of RO-MAN'97*, pp.408-411(1997).
- (6) Yatsuka, K., Kawabata, K. and Kobayashi, H., A Study on Psychological Effects of Human-Like Interface, *Proc. of RO-MAN'98*, pp.89-93(1998).
- (7) 横山真男, 青山一美, 菊池英明, 帆足啓一郎, 白井克彦, 人間型ロボットの対話インタフェースにおける発話交替時の非言語情報の制御, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.487-496(1999).
- (8) 渡辺富夫, 大久保雅史, 身体的コミュニケーション解析のためのバーチャルコミュニケーションシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.670-676(1999).
- (9) 渡辺富夫, 大久保雅史, 小川浩基, 中茂睦裕, 身体的インタラクションロボットの開発, 第4回 JSME ロボメカ・シンポジウム講演論文集, pp.68-71 (1999).
- (10) Watanabe, T. and Yuuki, N., A Voice Reaction System with a Visualized Response Equivalent to Nodding, *Advances in Human Factors/Ergonomics*, Vol.12A, pp.396-403(1989).
- (11) 赤池弘次, 中川東一郎, ダイナミックシステムの統計的解析と制御, サイエンス社 (1972)
- (12) 渡辺富夫, 大久保雅史, コミュニケーションにおける引き込み(音声の ON-OFF に基づく傾き反応モデル), 情報処理学第56回全国大会講演論文集(4), 4-15-4-16(1998).
- (13) Watanabe, T., The Adaptation of Machine Conversational Speed to Speaker Utterance Speed in Human-Machine Communication, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.SMC-20, No.2, pp.502-507(1990).
- (14) Kimura, H., Non-uniqueness, Uncertainty and Complexity in Modeling, *J. of Appl. Computation, Control, Signals and Circuits*, Vol.1, pp.455-485(1998).
- (15) Watanabe, T., Voice-Responsive Eye-Blinking Feedback for Improved Human-to-Machine Speech Input, *Advances in Human Factors/Ergonomics*, Vol.19B, pp.1091-1096 (1993).