

ファジィ理論を用いた AT 車のシフト スケジューリング手法

Shift Scheduling Method of Automatic Transmission
Vehicle with Application of Fuzzy Logic

酒 井 伊知郎*	新 井 康 久*	松 井 弘 樹**
Ichiro Sakai	Yasuhisa Arai	Hiroki Matsui
長谷川 祐 介*	岩 城 喜 久*	芳 賀 剛 志*
Yusuke Hasegawa	Yoshihisa Iwaki	Takashi Haga

要 旨

オートマチックトランスミッション車(以下AT車)のシフトスケジューリングは、現在、車速及びスロットル開度により決定されている。しかし、ドライバーは単に車速とスロットル開度によりシフト位置を決定しているわけではなく、その他の多くの情報から状況を把握し、さらにそれを今までの運転経験から得られた経験則に照合して、シフトポジションを変更するかどうかの意志決定を行っているのである。本論文では、上記に鑑み、ファジィ制御理論⁽¹⁾を用いたAT車のシフトスケジューリング手法について述べる。この手法では、ドライバーのシフトスケジューリングに関するノウハウである、状況認識から意志決定までの図式をファジィ集合を用いてIF・・・THEN・・・形式で記述し、そのファジィプロダクションルールに従ってシフト位置を決定している。これにより、従来のAT車に比較してよりの確な時期にシフトアップ、シフトダウンを行えるようになり、特に、登坂時においてドライバビリティの向上が期待できるようになった。

ABSTRACT

This paper discloses one application of 'fuzzy logic': the shift scheduling of automatic transmission (AT) vehicles.

Generally, vehicle velocity and throttle angle are basic factors which are used in the determination of shift scheduling in AT vehicles. By contrast, a driver using a manual transmission must consider a variety of other factors analyzing them with the use of their driving experience, and then making the gear shift decision. Thus the inclusion of additional human factors into the determination of shift schedules in automatic transmissions would be beneficial.

We now introduce a shift scheduling method in which 'fuzzy production rules' are described in "if..., then..." terms in a program that represents a driver's recognition of circumstances, and gear shift decisions are made utilizing 'fuzzy reasoning'.

When compared to cars equipped with conventional automatic transmissions, this method allows gear changes at more reasonable timings. This has especially helped improve performance in uphill driving.

1. ま え が き

最近、マイクロコンピュータを使用し、より緻密な制御手法で、今まで人間が行ってきた煩雑な操作を自動化する事が盛んに行われるようになってきた。この場合、システム全体を数学モデルに記述し、それをもとに制御しようとするのが一般

的なアプローチ手法である。車の世界においても同様な試みがなされてきている。しかし、そのマイクロコンピュータによる制御は、速度、量において人間の操作に勝るが、その質において熟練者の操作に及ばない場合が多く、必ずしも十分な満足が得られることはなかった。更に近年では、車

* 和光研究所

** 栃木研究所

に従来のトランスポートの役割に加えて、人の感性に呼応した操作性や特性まで要求されるようになってきた。別言すれば、今までの制御が苦手とする質的向上が、強く求められるようになってきたのである。

ところで、人間自身の行動にまで至る過程を考えてみると、上記モデルを意識して行動しているわけではない。人間は、おおまかに状況を把握し、判断し、行動するという「認知→判断→決定→行動」のプロセスを踏んでいると考えられる。この一連の動作は IF・・・THEN・・・というプロダクションルールにより記述する事が容易である。またこのルール自体が経験から得られた制御ノウハウと考えることができるので、これらのルールを基にして制御を実現すれば、人間のノウハウを反映させた制御が可能となり質的向上も期待できることになる。そこで、熟練者の定性的な制御ノウハウをファジィ集合を用いて定量的に表現し、制御を行う手法として Mamdani らによってファジィ制御が提案された。⁽²⁾

本論文は、上記制御手法をトランスミッションの制御に応用したものである。特に前記人間の「認知→判断→決定→行動」のプロセスが顕著に行われている部分の一つであるとの判断から、AT 車のシフトスケジューリングに適用した。

現在の AT 車のシフトスケジューリングは、車速及びスロットル開度より決定されている。しかし、この制御方式によるシフトスケジューリングと実際ドライバーが行うそれと比較した場合、一般的な走行条件では明確な差異はないが、登坂、降坂など走行条件が変化した時に、「乗り心地」、「空走感」、あるいは「燃費」といったドライバーが重要視する評価指標を十分に考慮した制御となっていない。

本論文では、ファジィ制御理論を適用し、さまざまな走行条件のもとで、より人間の感性に呼応したシフトスケジューリングを行うシステムについて述べる。さらに、さまざまな走行条件のもとで提案されたシステムと従来のシステムとの比較を実際に走行することにより行い、本方式の有効性の検討を行った。

2. 従来のシフトスケジューリングのアウトライン

従来のシフトスケジューリングは、車速及びスロットル開度の2つのパラメータにより図1のように決定されていた。現在は、マイクロプロセッサを用いてシフトスケジューリングを決定しているものが増加している。これらについては、MAP 検索された指令値に対し細かい補正を行っているものもある。

3. ファジィ制御によるシフトスケジューリングシステム

3.1. ドライバーのシフトスケジューリングに関する知識

本研究は、ドライバーのシフトスケジューリングに関する知識をアルゴリズムに反映し、人間の感性に呼応したシステムの開発を目的としている。そこで、アンケートによりシフトスケジューリングに関する知識の抽出をおこなった。

以下にその主なものを示す。

1. ドライバーは、車速が高いほど高いギアポジションを使用し、逆に車速が低いほど低いギアポジションを使用する。
2. アクセルを踏み込んでいればシフトアップ時期は遅れる。(アクセルが全開ならば、最も速く走るために最大限シフトアップ時期を遅らせる。)
3. 登坂路における走行では、低めのギアポジションを使用し、余裕駆動力不足の発生を避ける。

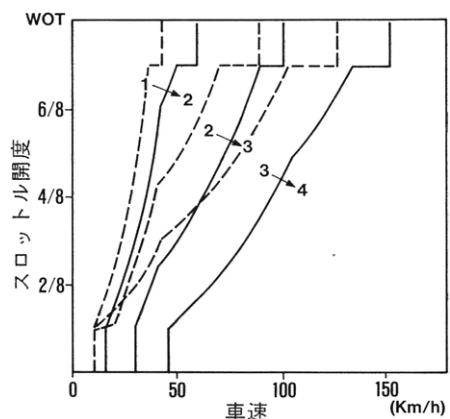


図1 シフトマップ

4. 降坂路における走行では低めのギアポジションを使用し、エンジブレーキを活用する。
5. 減速を意図した場合には、スロットルを戻した場合でもシフトアップは行わない。
6. 減速を意図した場合に、現在のシフトが高ければ少し低めのギアポジションを使用し、エンジブレーキを活用する。

3.2. ファジィ集合による知識の定量化

上のアンケートの結果に見られるように、人間の知識は、「車速が高い」、「高いギアポジション」など、多数の認識のあいまいさ「ファジィネス」を含んでいる。これら認識のあいまいさは確率の(生起の)あいまいさとは異なり、ファジィ集合により表現する事がZadehにより提案されている。⁽³⁾ 本論文では、あいまいさの定量化手法としてZadehの提案手法を用いているのでこれらについての説明は割愛する。

3.3. ファジィ制御

ファジィ制御は、認識のあいまいさを含んだ多数のIF...THEN...ルールで表現された制御ノウハウに基づきファジィ推論を行い、出力を決定し、対象システムを制御する手法である。

本論文におけるファジィ推論は、以下のように定式化した。

ルール群は、以下のように表現することができる。

$$\begin{aligned}
 R^1 & ; \text{ IF } (X_1 \text{ is } A_1^1, \dots, X_k \text{ is } A_k^1) \\
 & \quad \text{ then } y^1 = b^1 \\
 & \quad \vdots \\
 R^n & ; \text{ IF } (X_1 \text{ is } A_1^n, \dots, X_k \text{ is } A_k^n) \\
 & \quad \text{ then } y^n = b^n
 \end{aligned}$$

ここで、A; 実軸上で定義されたファジィ集合

b; 出力値(実数値)

X; 入力変数

Y; 出力変数

$$\begin{aligned}
 X_1 &= X_1^0, \dots, X_k = X_k^0 \\
 (X_1^0, \dots, X_k^0 &\text{ は確定値})
 \end{aligned}$$

の入力が与えられる場合、ルール R^i の真理値 $[R^i]$ を以下の式により計算する。

$$[R^i] = \text{MIN} \{ A_1^i (X_1^0), \dots, A_k^i (X_k^0) \}$$

ここで $A_1^i (X_1^0)$ は、ファジィ集合 A_1^i の X_1^0 におけるメンバーシップ値である。

さらに、求める出力値(制御指令)は以下の式により計算する。

$$Y = \frac{\sum_i [R^i] X b^i}{\sum_i [R^i]}$$

3.4. システム構成

ファジィシフトスケジューリングシステムを図2に示す。システムは、入力ブロック、推論ブロック、知識ベース、出力ブロックの4つのブロックより構成されている。

<入力ブロック>...車速、スロットル開度、エンジン回転数、エンジン負圧、シフト位置の5つの入力を受け、統計的処理を含む前処理を行い、制御に必要な情報を計算する。

<推論ブロック>...入力ブロックからの情報及び次の知識ベースのルール群から、現在あるべきシフト位置をファジィ推論より求める。

<知識ベース>.....アンケートより得られた人間の制御ノウハウが、多数のIF...THEN...ルールの命題として蓄えられている。ここで、認識のあいまいさは、ファジィ集合を用いて表現される。

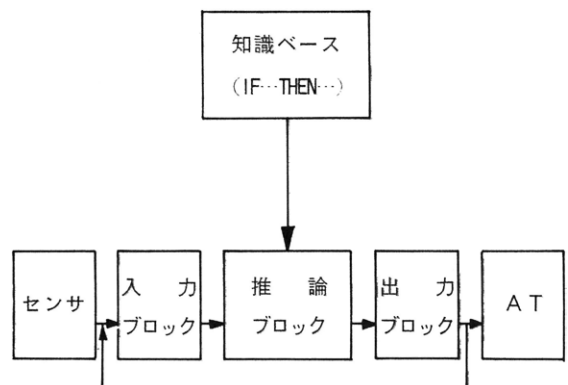


図2 ファジィシフトスケジューリングシステム

図3 にアンケート、シミュレーションより決定されたルール群、およびそのファジィ集合を列記する。

<出力ブロック>…このブロックでは、先のブロックで、推論されたシフト位置に対してオーバーレブチェックを行い、最終的なシフト位置を決定しアクチュエータに指令を出している。

4. フィールドテスト結果

フィールドテストを山岳路、市街地にて行った。以下にテスト方法及び結果を説明する。

4.1. 山岳路

山岳路の代表モードとして、日本国内のある道路を選び、ファジィと D レンジの走行状態の比較を行った。

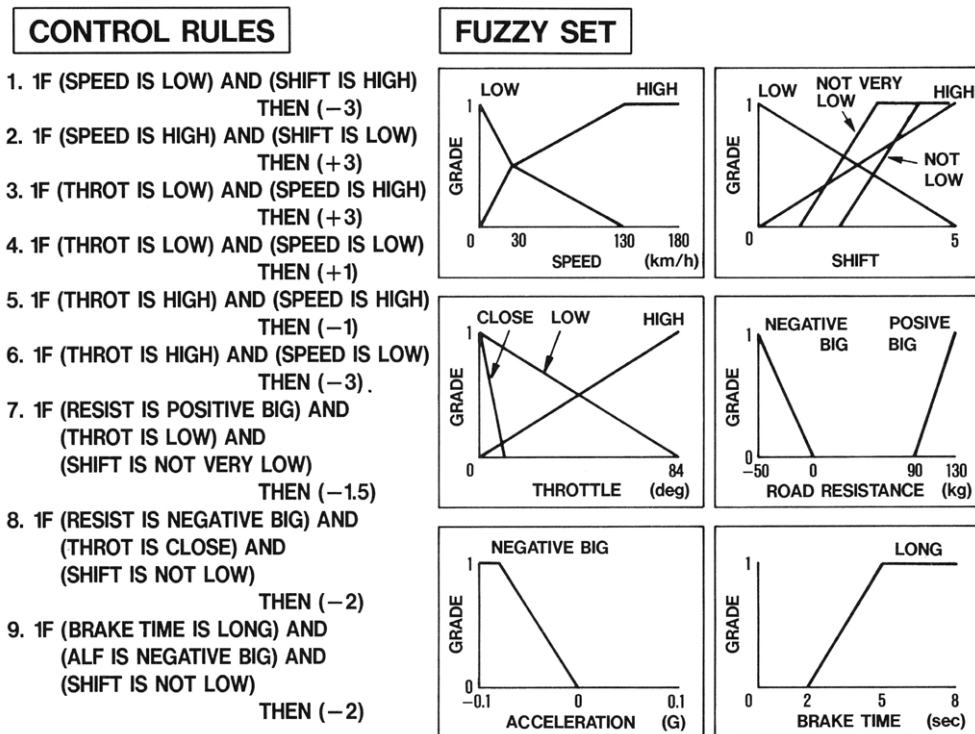
道路のプロフィールは、以下の通りである。

全行程距離	12.3 km
標 高 差	945.5 m (最高 950 m 最低 4.5 m)
平 均 斜 度	8.9 %
最 大 斜 度	10.1 %

(1) 登坂走行

登坂走行時の「乗り心地」を表現する重要な指標と考えられるものに、全行程におけるシフト回数やアクセルストローク量の総和、さらにアクセル開度分布、アクセル操作速度分布があげられる。

3 人のドライバー A, B, C に対し、目標車速を、60km/h, 75km/h, 90km/h に指定した場合の全行程におけるシフト回数、及びアクセルストローク量の総和の平均を図4 に、ド



ここで、 THROT:スロットル開度 SHIFT :シフト位置
SPEED :車速 RESIST:走行抵抗
ALF :加速度

図3 “IF・・・THEN” ルールとファジィ集合

ライバーAについて、目標車速 60km/h を指定した場合の走行状態を図5 に示す。

次に、ドライバーAについて目標車速 75 km/h のアクセル開度分布、アクセル操作速度分布を図6 に示す。(アクセル開度分布、アクセル操作速度分布は、ドライバーB, C 及び車速 60km/h, 90km/h については省略する。)

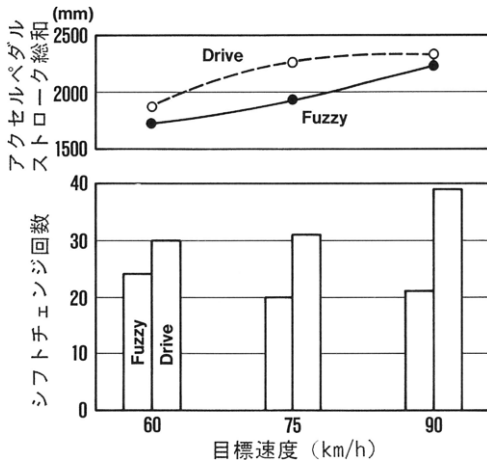


図4 登坂時のシフト頻度とアクセルペダルストローク総和

以上のテスト結果より、本提案のシステムは、余裕駆動力不足によるシフトダウン頻度を減少させ、少ないアクセル操作、ゆるやかなアクセル操作による走行を可能とし「乗り心地」を考えたシフトスケジューリングを行っていることがわかる。

(2) 降坂走行

降坂走行時の「空走感」を与える指標として、ブレーキ回数、及びスロットル全閉時(人間は、少なくとも加速したいとは思っていない。)の加速度分布が考えられる。3人のドライバーに対し、全行程におけるブレー

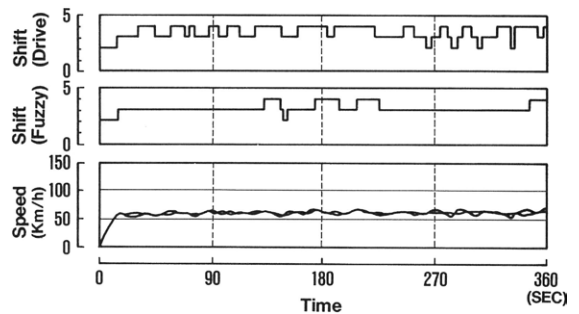


図5 登坂時のファジィ、量産シフトパターン比較

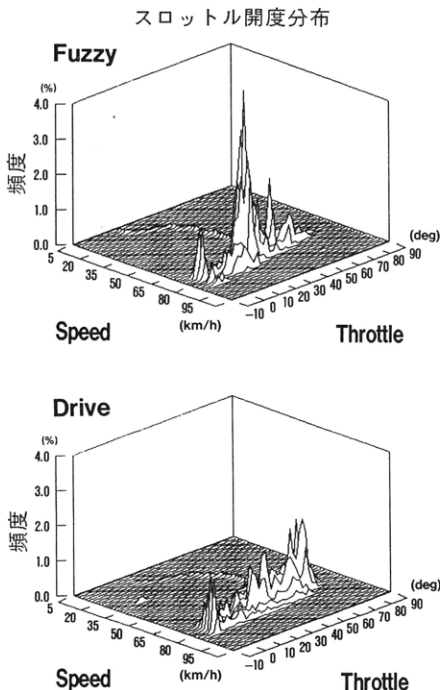


図6 登坂時のアクセル操作

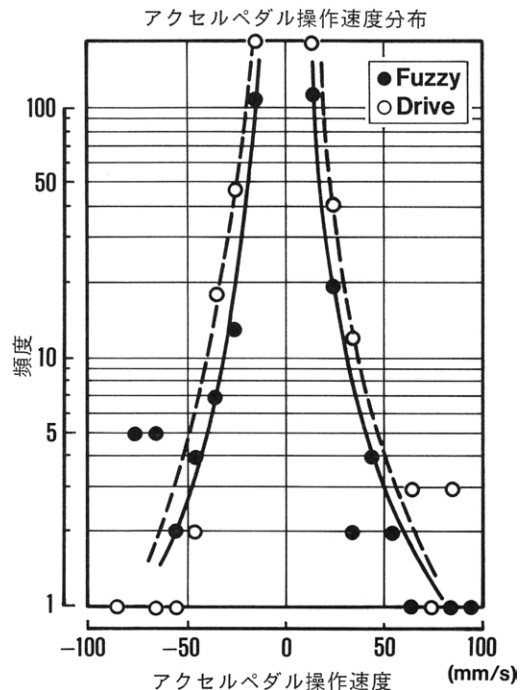


表 1 ブレーキ回数の比較

Driver	A	B	C	Average
Fuzzy	24	18	16	19.3
Drive	29	27	26	27.3

キ回数を表 1 に、ドライバー A について、加速度分布を図 7 に示す。

以上のテスト結果より、全閉時は、従来のシステムに比較してより大きな減速力を発生し、人間の感覚にマッチしている。その結果、表 1 に見られるように強制的にブレーキで減速する機会が少なくなっており、「空走感」の回避を考えたシフトスケジューリングとなっている。

4.2. 市街地

市街地の代表モードとして、会社近郊の国道を選び、ファジィと D レンジの走行状態の比較を行った。

道路のプロフィールは、次の通りである。

全行程距離	24.3 km
法定車速	50 km/h
道 幅	8 m

市街地走行において、登坂路と同じ項目についてまとめた結果を、表 2, 図 8 に示す。

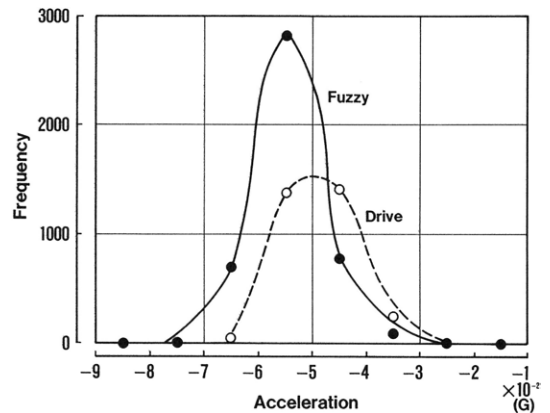


図 7 降坂時の加速度分布

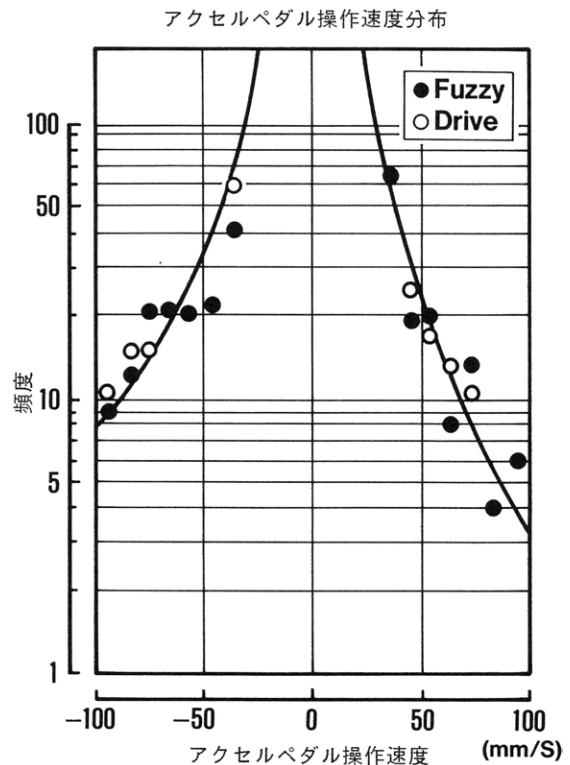
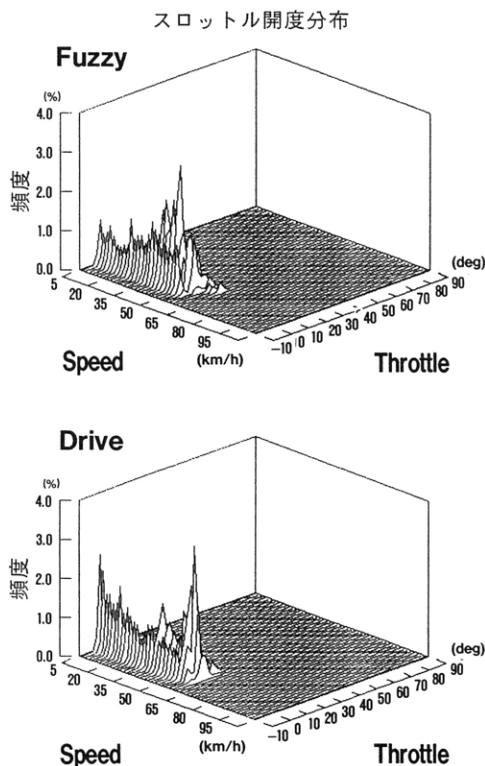


図 8 市街地走行時のアクセル操作

表2 市街地走行時のシフト頻度と
アクセルペダルストローク総和

	シフト チェンジ回数	アクセルペダル ストローク総和
Fuzzy	64.3	6215mm
Drive	97.3	5317

以上のテスト結果より、市街地走行においては、ドライバーに従来と大きく異なるアクセル操作は強要しないシフトスケジューリングになっていることがわかる。

5. 結 論

本論文では、AT車のシフトスケジューリングの質的向上を目的とし、人間の制御ノウハウをアルゴリズム化できるファジィ制御理論を当分野に適用した。そして、ドライバーのシフトスケジューリング知識に基づきAT車のシフト位置を決定するシステムを開発した。

フィールドテストの結果、開発したシステムにより、人間のノウハウを反映したシフトスケジューリングを実現できることがわかった。とりわけ、登坂路ならびに降坂路において、従来実用化しているMAP方式と比較して、「乗り心地」、「空走感」を考慮させることが可能になり、より人間の感性にこたえられるようになった。

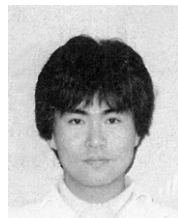
参 考 文 献

- (1) T. Yamazaki and M. Sugeno, "Fuzzy Control", SYSTEM AND CONTROL Vol. 28 No.10 PP442-446, (July 1984)
- (2) E. H. Mamdani, "Applications of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant", Proc. of IEEE, 121, PP1585-1588, (1974)
- (3) Lotfi A. Zadeh, "Fuzzy Sets", Information and Control, Vol. 8, PP338-358 (1965)
- (4) S. Yasunobu, "Predictive Fuzzy Control and Application for Automatic Container Crane Operation System", Preprints of Second IFSA Congress, PP349-352 (1987)
- (5) S. Yasunobu, "A Predictive Fuzzy Control for Automatic Train Operation", SYSTEM AND CONTROL Vol. 28 No.10 PP605-613, (October 1984)
- (6) O. Itoh, "Application of Fuzzy Control To Activated Sludge Process", Preprints of Second IFSA Congress. PP282-285 (1987)

■ 著 者 ■



酒井 伊知郎



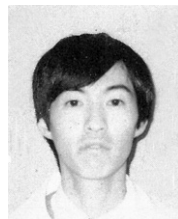
新井 康久



松井 弘樹



長谷川 祐介



岩城 喜久



芳賀 剛志