

ファジィ推論を用いた運動評価支援システム†

杉本 光公*¹ 安信 誠二*²

運動パフォーマンスは“その運動にかかわる動作を含む成果”であると定義されており、この運動パフォーマンスを総合的に評価することは現状を改善するためにも重要なことである。現在運動パフォーマンスは二つの面から評価されている。一つは体力面からの評価で、各体力要素(筋力、筋持久力、敏捷性、平衡性、瞬発力、全身持久性等)を個々に測定し、その合計得点や標準化した合成変量で評価されている。もう一つは、技術面からの評価で、スキルテストによって評価されている。しかし、総合的な運動パフォーマンスは、それらの物理的指標を元に監督やコーチの経験則に従って評価されるというのが一般的である。人間の運動パフォーマンスを評価する上で、このような主観的判断に頼らなければならないのは、運動パフォーマンスが人間本来に由来する曖昧さを内在しているという点と、また人間の運動が非常に複雑であるために、厳密で意味のある記述が不可能であるという2点からである。本研究では、このような問題点を改善するために、人間の運動パフォーマンスの評価に対して、ファジィ推論を用いた方法を提案する。ファジィ推論を用いることによって、人間に内在する曖昧さを包含した形で評価が可能であり、また熟練指導者の経験則を用いて、非線形な評価を再現性良く行うことが可能となった。

キーワード：ファジィ推論，運動パフォーマンス，評価

1. はじめに

運動パフォーマンスは“その運動にかかわる動作を含む成果”であると定義されており[3]、この運動パフォーマンスを総合的に評価することは現状を改善するためにも重要なことである。現在、運動パフォーマンスは二つの面から評価されている。一つは体力面からの評価で、各体力要素(筋力、筋持久力、敏捷性、平衡性、瞬発力、全身持久性等)を個々に測定し、その合計得点や標準化した合成変量をもって評価されている[1]。もう一つは、技術面からの評価で、スキルテストによって評価されている[2]。しかし、総合的な運動パフォーマンスは、体力要素の測定値やスキルテストの得点などの物理的指標を元に監督やコーチの経験則に従って、評価されており、人間の主観的判断が重要である。これは、運動パフォーマンスを評価するということが厳密な数値を用いた指標よりも監督やコーチの主観的な判断に頼っているからである。この原因として(1)人間の機能や行動は非常に複雑であるので、厳密に記述しようとすればするほど現実性を失ってしまう。(2)人間の機能や行動には本来的に曖昧さが存在する。という点が考えられる。そこで本研究では、人間の運動パフォーマンスを多面的にとらえ、人間の経験則に

従った運動パフォーマンスの外見上の良否の評価を行うシステムを構築することを目的とする。その実現方法としては、人間の曖昧さを吸収するために、ファジィ推論を用いる。

対象とする運動はペナルティ・スポット(ペナルティエリア内のPKをけるポイント)からの正確なシュートでキック動作としてはインステップキックに分類されるものである。このキックの特徴としては正確で、最も力強いシュートが打てるということである。このキックはキックの基本であり、またサッカーの研究の中で最も多く取り上げられており、その重要性が示されているからである[2]。本研究では、まずコーチがどのように運動パフォーマンスを評価しているかを調査し、人間の主観的判断に基づいた評価を行うシステムを構築する。

2. 運動パフォーマンスの評価の現状

2.1 バッテリーテスト(組テスト)-総合体力指標

体力を構成する要素は非常に多く、猪飼1962[3]によると、図1の様に分類される。しかし体力そのものは全構成要素が総合されて身体に備わり、新たに獲得されるものである。これらを測定するために、筋力や持久力さらには神経系の能力指標となるような体力の構成要素の測定値を組み合わせることで体力を総合的に評価する試みは古来より多く行われている。しかしそれらの組み合わせに関して議論が多く、特にどの方法が標準的であるとか多用されていると言う状況には至っていない。そこで、本研究ではエキスパートの指摘する

† Supporting System to Evaluate Physical Performance Based on Fuzzy Reasoning

Mitsukimi SUGIMOTO and Seiji YASUNOBU

*1 筑波大学大学院体育科学研究科

Doctoral program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

*2 筑波大学構造工学系

Institute of Engineering Mechanics, University of Tsukuba

点を重要視し運動パフォーマンスの改善点として抽出することを試みた。

2.2 スキルテスト

スキルの定義として代表的なものは、Knapp[4]のものである。

“スキルは最高の正確さで、またしばしば、最小の時間とエネルギーあるいはこれら両者で、あらかじめ決められた結果が生じるような学習された能力である”。この定義の強調点は、スキルの成果は学習によって生じ、新しい運動パターンの組織化は学習の結果であるということ、スキルは目的をもった行為の遂行において筋肉の協応を含む随意的な運動であるということである。このようなスキルを評価するために様々なスキルテストが考案されている[5]。それらは、目的によって次の3つに分類することができる。

- (1) 各種目に渡る運動技能を組み合わせて、一般的な運動技能の現状を調べようとするもの
- (2) ある特定のスポーツの適性を調べようとするもの
- (3) ある特定のスポーツの技能の現状を調べようとするもの

本論文で取りあげるものは、(3)に属するテストである。特定のスポーツ技能の現状を調べる場合それぞれの運動種目について、その全体の技能を構成している下位技能を、いくつか選択し、それらの時間、距離、回数等によって測定しようとするスキルテストが多い。しかし実際には、個人技能を測定するテストを組み合わせただけで各種の要因が総合されている全体の技能の程度を示すことは少ない。

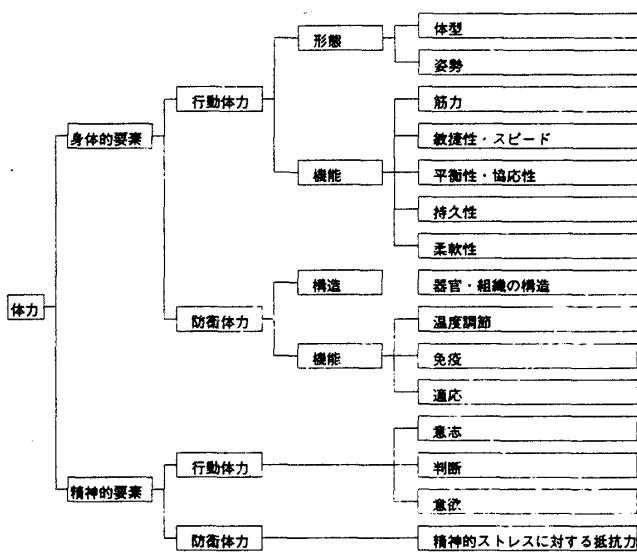


図1 体力の構成要素

3. 運動パフォーマンスの改善

3.1 熟練パフォーマンスの特徴

運動パフォーマンスが改善される場合、以下の点について、熟練者のパフォーマンスに近付いて行くことが示されている[6].熟練者のパフォーマンスの特徴は

- i) 行為の柔軟性あるいは適応力がある
- ii) 動作の供給能力がある
- iii) タイミングが良い
- iv) 行為の系列的知識がある
- v) 近い将来のできごとが見越せる
- vi) 動作のスムーズさが見られる
- vii) 単なる部分動作の熟練だけでなく連続し、並行する操作を一つのまとまりで把握できる
- viii) 冗長度が高い
- ix) 動作の自動化が生じている(注意と緊張の減少)

とされている。これらの点のうち、本研究では、i), ii), iii), vi), viii), ix)の点に着目し、運動パフォーマンスの熟練度を評価する。これは、iv)は外見上判断が困難であるために、またv)は更に高度なチームプレーなどで重要な特徴であるので、キック動作においては必要がなく、またvii)は連続し並行する操作を一つのまとまりで把握という点が、どのような構成要素をもっているか定義困難であったため用いなかった。

3.2 運動パフォーマンスの改善モデル

運動パフォーマンスの改善が、上述の熟練者のパフォーマンスとの偏差を少なくするように行われるとするならば、運動パフォーマンスの改善モデルは図2の様に表すことが可能である。このシステムにおいて、熟練指導者は運動の遂行者の動作に対して、上述3.1の各点について主観的に評価し、どの点が改善すべき点であるかを判断する。

この判断は熟練指導者の脳内に記録されている感覚量の基準となる尺度を表していると考えられる。本研究では、このような熟練指導者が確立している判断基準をコンピュータ上にファジィ理論を用いて表現し、運動パフォーマンスを評価する。これによって、熟練指導者の評価を再現性をもって表すことを目指す。また人間本来の曖昧さをファジィ理論によって吸収しより現実に即した評価システムを目指す。

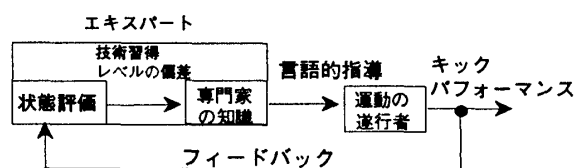


図2 運動パフォーマンスの改善モデル

4. ファジィ推論を用いた運動パフォーマンスの評価方法

4.1 ファジィルールデータベースの構築

ファジィルールの初期設定を行うために、事前にアンケート調査を行った。インステップキックを行っているビデオ画像を3人の専門家(サッカー経験年数14年以上)に見せ、改善すべき点を自由記述方式で記述してもらった。記述された改善点の中で二人以上に記述されている特徴と、特に強調されている特徴をフォームのパラメータとして採用した。この改善指示を経験則として整理すると

- (1) もし踏み込みが浅ければ、もう少し踏み込ませる
- (2) もしバックスイングが足りなければ、バックスイングを大きく取らせる
- (3) もし蹴り足の足首が伸びていなければ、伸ばさせる

また体力要素のパラメータとしては、

- (4) もし力強くなければ、筋力を付けさせる
 - (5) もしバランスが悪ければ、立ち足を安定させる
- というルールが抽出できた。

4.2 システム構成

本研究におけるファジィ評価システムの構成は図3の様であった。ファジィ評価システムは、運動の遂行者が実際にキックしているビデオ画像を入力とする。

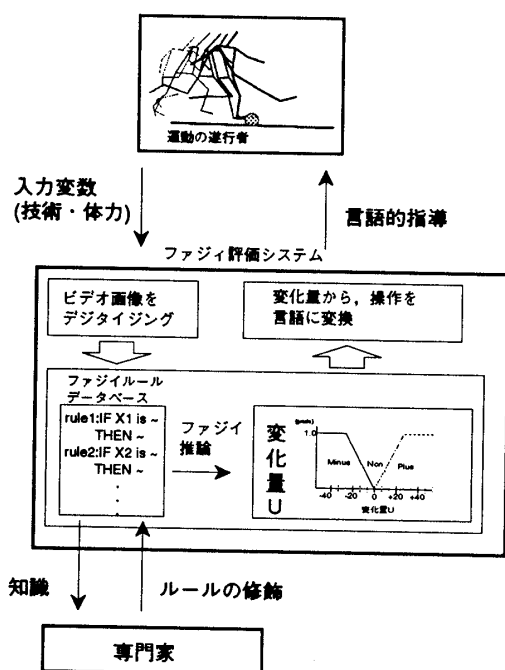


図3 システム構成

そして左右つま先点、左右足首点、左右大転子点、左右肩峰点、左右ひじ点、左右手首点、頭頂点の13点と、ボールの中心、ボールの前後50cmの地面に置いたマーク2点を計測点として合計15点を用いてデジタイジングを行った。

ファジィルールデータベースは、4.1の経験則をIF-THENルールに変換しデータベース化した。このときにフォームのパラメータを更に下位の入力変数($x_1 \sim x_5$)に分けて記述した。これらを図4に示した。またこの図4は実際のデータの一例である。入力変数はそれぞれ、 x_1 (振り角)、 x_2 (踏み込み位置)、 x_3 (足首角)、 x_4 (上体角)、 x_5 (踏み込み幅)とした。これらの入力変数のメンバーシップ関数は図5に示した。それぞれのメンバーシップ関数は、コーチ3人にインステップキックのビデオ30本分(初級者から上級者まで)を見てもらい、指摘された点(例えば、「踏み込みが狭い」と判断されたビデオ画像)から各変数の最大値と最小値を求め、台形のメンバーシップ関数の上底とした。そしてメンバーシップ関数の下底は上底を左右に1.5倍ずつ広げ、全体として4倍となるようにした。また、体力要素のパラメータは、脚筋力、バランス能力で代表されるとし、体力要素の入力変数を、 x_6 (蹴り足の脚伸展筋力)と x_7 (立ち足の閉眼片足立ち能力)とした。

$x_1 \sim x_7$ の変数を用いて、経験則のファジィルール化を行うと以下ようになる。これらのルールには全て、デフォルトとして

ルール IF valuable is just
THEN Non

のルールをもっているものである。これは入力値が適切であった場合、操作が何も必要でないことを示している。

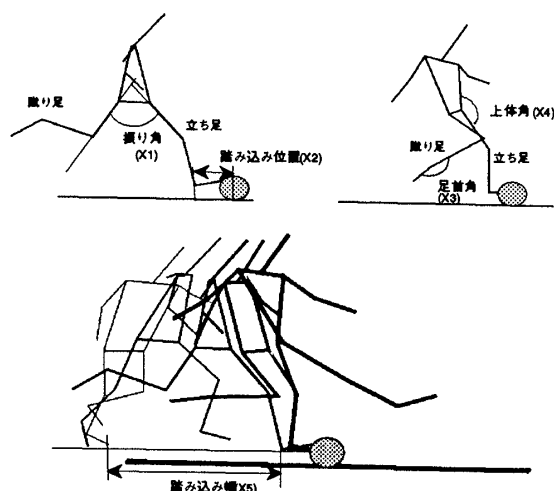


図4 フォームの入力変数

- ルール 1 : IF x_5 is narrow and x_2 is backward
THEN x_5 is Plus and x_2 is Plus
- ルール 2 : IF x_1 is narrow and x_4 is broad
THEN x_1 is Plus and x_4 is Minus
- ルール 3 : IF x_3 is narrow
THEN x_3 is Plus
- ルール 4 : IF x_6 is weak
THEN x_6 is Plus
- ルール 5 : IF x_7 is low
THEN x_7 is Plus

後件部の Plus および Minus は “その変数の値を増やす” または “その変数の値を減らす” に対応するファジィ集合である. これを操作量 U と定義し図 6 に示した. これは最大で $\pm 30\%$ の変化を変数に与えるものである. また, $\mu(Non) = 1.0$ である時の操作量は $\pm 0.0\%$ である.

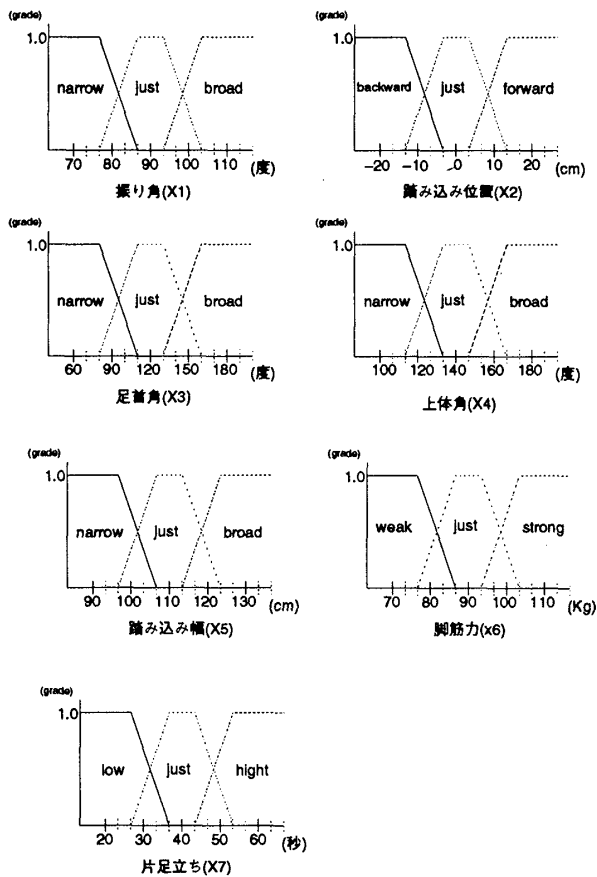


図 5 メンバシップ関数

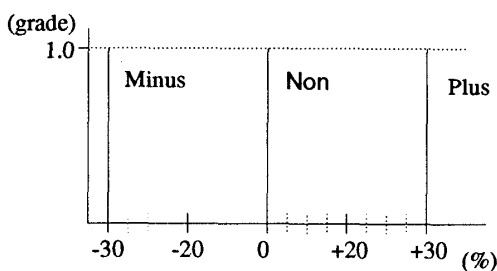


図 6 操作量 U

5. キックパフォーマンスの評価及び改善の指示

5.1 キックパフォーマンスの評価

評価例として, N1(サッカー歴なし), N2(サッカー歴 13 年) を被験者とし, 本システムを用いてキックパフォーマンスを評価した. ファジィ推論は簡略化推論法を用いた. N1, N2 の $x_1 \sim x_7$ までの測定値と簡略化推論法による改善指示を表 1 に示した.

ここでの操作量 U の Plus または Minus の値は “良いパフォーマンス” からの偏差を表していると考えられる. そこでこの U の操作量の絶対値の総和が全体評価の指標となると考えられる. これを変数の個数と, U の取り得る最大の絶対値で標準化したものをパフォーマンス指標 D として以下の式で定義する.

$$D = \frac{1}{\max(|U|)} \sum_{i=1}^n \frac{|U_i|}{n}$$

このパフォーマンス指標 D は, パフォーマンスの評価の指標として用いることが可能である. この指標 D は 1.0 に近ければ近いほどパフォーマンスが悪く, 改善点が多いことを示している. 上述の被験者 2 名のパフォーマンス指標 D の値を比較すると, N1 は 0.71, N2 は 0.39 であった. また各被験者の操作量 U の値から, N1 はすべての項目について改善が必要であるが, 脚筋力やバランス能力は十分であるということが分析できる, それに対して, N2 は脚筋力とバランス能力が欠けてはいるが, 全体としてのパフォーマンスはかなり良いという結果を導くことができる.

5.2 言語的指導

人間の主観的評価は, 最大平均主観エントロピーの計算により, 3~5 のカテゴリーに分けるのが良いとされている [8]. 本研究では正の方向と負の方向に 3 つずつのカテゴリーを設定した. すなわち正の方向には “非

表 1 実測値と操作指示量

入力変数	N1		N2	
	実測値	操作指示量	実測値	操作指示量
x1(deg)	59.2	+30.0%	83.2	+15.0%
x2(m)	-0.13	+30.0%	0.01	+0.0%
x3(deg)	91.4	+21.0%	177.3	+0.0%
x4(deg)	161.8	-21.0%	155.1	-0.6%
x5(m)	1.03	+18.0%	1.13	+0.0%
x6(kg)	81.0	+15.0%	75.0	+30.0%
x7(sec)	31.5	+15.0%	10.0	+30.0%

常に大きく”, “大きく”, “少し大きく”, また負の方向には“非常に小さく”, “小さく”, “少し小さく”の6つを選んだ。そしてメンバシップ値を指標として, plusの場合, 0.0~0.3は“少し大きく”, 0.3~0.7は“大きく”, 0.7~1.0は“非常に大きく”に, また minusの場合, 0.0~0.3は“少し小さく”, 0.3~0.7は“小さく”, 0.7~1.0は“非常に小さく”に対応させ, 言語的指導に変換し出力した(図7)。この出力は, 事前に熟練指導者によるアンケート調査の指導(図8)と同等な結果であった。

6. おわりに

本研究では, 運動パフォーマンスの評価方法として, 熟練者の評価方法を考慮に入れて, ファジィ推論を用いた方法を提案した。運動パフォーマンスの評価パラメータとしては, フォームに対して振り角, 踏み込み位置, 足首角, 上体角, 踏み込み幅, を選択し, 運動能力に対するパラメータとしては脚筋力, 片足立ちを用いた。定量的に測定したこれらの値を用いて運動パフォーマンスを評価した結果, 熟練者が行っているのと同様な評価が可能であった。更にファジィ推論を用いて評価を行っているので, フォームが多少変動してもその変動を吸収し, 再現性の高い評価を行うことが可能であった。また, 本研究で用いられた手法で運動パフォーマンスを評価するための熟練者の知識の蓄積が可能であることが示された。更に実用化を測るために, 今後の課題としては

- (1) 実際にこのシステムを用いて, 運動パフォーマンスを改善する
 - (2) 3次元の運動を評価できるように拡張する
 - (3) 更に高度なチームプレーの評価に適用する
- などが考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり, 筑波大学体育科学系 浅見高明教授に多大なるご指導を賜りました。ここに深く感謝します。

被験者N1	被験者N2
振り角を非常に大きくし, 踏み込み位置を非常に近くし 足首角を大きくし 上体角を小さくし 踏み込み幅を大きくし, 筋力を少し大きくし, バランス能力を少し高くない。	振り角を大きくし, 上体角をすこし小さくし, 筋力を非常に大きくし, バランス能力を非常に高くしなさい。

図7 システムの出力

被験者N1	被験者N2
振り幅が少ない 足首を伸ばして固定 蹴る足をもう少しバック スイングした方が良い 体の前傾	もう少し前傾 踏み込みが浅い バランス悪い

図8 熟練指導者の指示

参 考 文 献

- 1) R. J. Shephard, *Physical performance tests for soccer*, Canadian Soccer Association, 1974.
- 2) 浅見俊雄, “サッカーの技術構造とスキルテスト,” 体育科教育, 18(2), pp.40-43, 1970.
- 3) 猪飼道夫, 身体運動の生理学. 杏林書院, 1973.
- 4) Knapp, B.N., *Skill in sport*. Routledge & Kegan Paul, London, 1963.
- 5) 松田岩男, “運動技術の構造とスキルテスト,” 体育科教育, vol.18, No.2, pp.15-18, Feb. 1970.
- 6) 調枝孝治, “運動学習における巧みさ,” 体育の科学, vol. 23, pp.279-283, 1973.
- 7) 安信誠二, ファジィ工学. 昭晃堂, 1991.
- 8) 廣田 薫, あいまい制御 知能ロボット. マグロウヒルブック, 1985.

(1994年9月16日 受付)
(1995年4月24日 再受付)

[問い合わせ先]

〒305 つくば市天王台1-1-1
筑波大学大学院体育科学研究科
杉本 光公
TEL : 0298-53-6444
FAX : 0298-53-6507
E-mail : sugimoto@taiiku.tsukuba.ac.jp

著者紹介



杉本 光公 (すぎもと みつきみ)

筑波大学大学院体育科学研究科

1989年 京都教育大学卒業、1992年筑波大学大学院体育研究科(修士課程)修了、1993年 同大学体育科学研究科(博士課程後期)編入学、現在に至る。専門：測定評価、バイオメカニクス。日本ファジィ学会、日本体育学会、バイオメカニズム学会、スポーツ教育学会会員。



安信 誠二 (やすのぶ せいじ)

筑波大学構造工学系

'73年 神戸大学工学部計測工学科卒業、'75年 同大学大学院修士課程修了、同年 (株)日立製作所入社、'89年より'91年の間、技術研究組合 国際ファジィ工学研究所へ出向 第3研究室長、'91年 (株)日立製作所システム開発研究所 第5部主任研究員、'92年 筑波大学構造工学系助教授、現在に至る。知的制御、ファジィ制御、ファジィ情報処理に関する研究・開発に従事、工学博士、昭和60年度計測自動制御学会論文賞受賞、第20回市村賞受賞、平成4年度 科学技術庁長官賞受賞、計測自動制御学会、システム制御情報学会、電気学会、IEEEなどの会員。

Supporting System to Evaluate Physical Performance Based on Fuzzy Reasoning

by

Mitsukimi SUGIMOTO and Seiji YASUNOBU

Abstract :

The physical performance is defined as "The result associated with the motion include of the movement". To evaluate this physical performance is important in order to improve current condition. Now, the physical performance is evaluated from two point of the view. One is from the physical fitness, which is measured from each physical elements(strength, muscle endurance, agility, balance, explosive strength, endurance,and so on). The other is evaluated from the skill, which is measured from skill test. But the total physical performance is generally evaluated by the supervisor or the coach depend on the experience which is based on these physical parameter. The reasons why such subjective evaluation have reliance for the evaluation of physical performance are that physical performance include the fuzziness derive from human and that human movements are too complex to describe effective means precisely. In this paper, to improve these problems,we propose the evaluation of the physical performance of human based on Fuzzy reasoning. By using Fuzzy reasoning, we can evaluate physical performance which include the fuzziness of human and also can have nonlinear evaluation depend on experience rule of expert with reliability.

Keywords : Fuzzy Reasoning, Physical Performance, evaluation

Contact Address : Mitsukimi SUGIMOTO

Doctral program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

Tennodai 1-1-1, Tuskuba 305, Japan

TEL : 0298-53-6444

FAX : 0298-53-6507

E-mail : sugimoto@taiiku.tsukuba.ac.jp