

8

理想のシート構造設計に向けた人体研究 Study of Human Skeleton to Design Ideal Structure of Automotive Seat

泉山 朋大* ¹ Tomohiro Izumiyama	西田 周泰* ² Norihiko Nishida	朝日 龍介* ³ Ryusuke Asahi	山縣 大樹* ⁴ Hiroki Yamagata	岩永 秀幸* ⁵ Hideyuki Iwanaga
大木 順司* ⁶ Junji Ohgi	澤井 亮* ⁷ Ryo Sawai	虫谷 泰典* ⁸ Yasuyoshi Mushitani	杉本 繁* ⁹ Shigeru Sugimoto	上野 正樹* ¹⁰ Masaki Ueno

要 約

交通事故による死亡重傷者低減のためには、適切な運転姿勢と乗員拘束性が鍵となる。乗員の運転姿勢は、シート形状に加え年齢・性別・体格による個々人の骨格アライメント（脊椎部各椎体の配列及び骨盤の傾き具合）の個体差からも影響を受けると考えられる。そのため、シート着座時の骨格アライメント個体差把握が重要であり、本研究では自動車シート着座時の骨格アライメントを調べ、年齢・性別・体格による個体差を分析した。さらに、人体の骨格や内臓を模擬したシミュレーションモデル（以下、人体FEモデル）THUMS ver.4 (Copyright 2015 © TOYOTA MOTOR CORPORATION) をベースに複数の個体を表現したモデルを作成し、これらを用いた衝突時の挙動解析を行い、乗員の安全性を確保できるシート構造について検討した。座位骨格アライメントは、S字と後弯の2タイプに大別された。また挙動解析では、骨盤回りの挙動差が観察され、事故時の乗員拘束性を確保するには正しい運転姿勢を保つことが重要であると示された。開発した次世代シートでは、骨盤を正立させ自然な脊椎S字を促し、自分の体の一部になったかのように意のままにクルマを操る「人馬一体」感を向上させながら快適性・安全性を両立した。

Summary

In order to reduce fatalities or serious injuries in traffic accidents, both an appropriate driving posture and occupant constraint are key points. It is important for us to understand the effect of individual difference in human skeletal alignment in seated posture. Consequently, in this study, we examined individual differences on the skeletal alignment in an automotive seat and analyzed the influence by the factors of age, gender and body type. Additionally, we created several human body models (HBMs) which represent individual differences by morphing the skeletal alignment of the human FE model, THUMS ver.4 (Copyright 2015 © TOYOTA MOTOR CORPORATION) and analyzed the kinematics of those HBMs to study the seat structure to ensure occupant's safety. The alignment in seated posture could be classified into two types: S-shaped and kyphosis. The analysis showed the difference of occupant kinematics in pelvic region, which indicates that it is important to maintain the correct driving position in consideration of occupant protection in case of accidents. It was confirmed that the next-generation seat, which was newly developed, facilitated upright pelvis and lumbar lordosis, leading to the advanced "Jinba-Ittai" philosophy and higher level of comfort and safety simultaneously.

*1,3,9 衝突性能開発部

Crash Safety Development Dept.

*8 操安性能開発部

Chassis Dynamics Development Dept.

*2,4,5 山口大学医学部附属病院 整形外科/放射線部

Department of Orthopedic Surgery and Radiological Technology, Yamaguchi University Hospital

*6 山口大学工学部 機械工学科

Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University

*7 装備開発部

Interior & Exterior Components Development Dept.

*10 車両実研部

Vehicle Testing & Research Dept.

1. はじめに

マツダ車が関係した交通事故での死亡重傷者を低減するための安全技術を確立すべく開発を行っている。これには、実際の市場事故の現状を把握し、内在する課題を明らかにすることや、人体そのものについて理解し、事故時の受傷発生メカニズムを正しく認識することが重要である。

部位別の比較において死亡者の割合は頭部・胸部が多いが、重傷者を含めると特に日本では腹部が大きな割合を占めている。その要因の一つとして、シートベルトが考えられる。自動車メーカーはシートベルトが腸骨にしっかりフィットするように設計しており、実際衝突用ダミーを用いた実験やシミュレーションでは衝突時も腰にしっかり掛かることは確認されている (Fig. 1) が、ヒトの骨格には個体差がありそれがどう影響するかを分析する必要がある。加えて、着座時の姿勢と骨格状態の関係も乗員の拘束性を考える上で把握する必要がある。正しい姿勢でシートに着座して、より快適な運転環境が実現すれば、自動車のダイナミック性能だけでなく安全性も確保されると考えている。

骨格アライメントについては、これまでさまざまな視点から立位及び座位骨格を対象にした研究がなされているが^(4,6)、実際に自動車シートを用いた研究、また幅広い年齢・体格を対象とした研究は少ない。今回、座位での人体骨格アライメントに注目し、その個体差を分析して人体FEモデルに反映させ、それらを用いて挙動解析を行った。また、次世代用に開発したシートについてマツダが考える理想の着座姿勢が実現できているかレントゲン撮影により確認を行ったので、報告する。

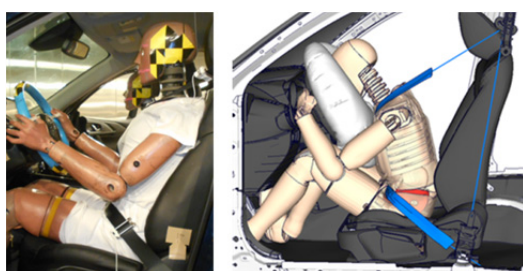


Fig. 1 Situation Which Lap Belt is Put on the Pelvis in Dummy

2. 実験方法

2.1 レントゲン撮影

レントゲン撮影用にアクセラシートを取り付けた治具をFig. 2に示す。シートバック 24° 、座面 21.5° に固定し、シートスライド機能及び持ち手位置は調節可能とした。撮影に際し、被験者にはフットレストに足を置き、

手置き棒に手をのせて、普段の運転姿勢を取って着座してもらった。年齢・身長・BMIごとに被験者層の範囲を3層に分け、データに偏りが生じないよう配慮の上、75名分の撮像データを取得した。撮影は山口大学医学部附属病院放射線部が所有する装置 (SONIALVISION Safire17 SHIMADZU) を使用し、座位・立位・臥位について撮影した (Fig. 2)。

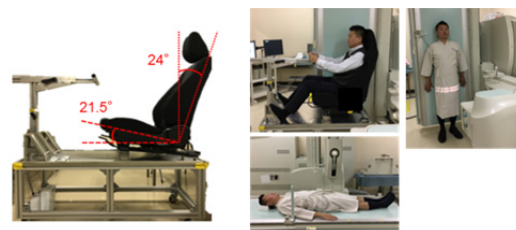


Fig. 2 X-ray Facility and Situations of X-raying

2.2 研究倫理

本研究は、山口大学及びマツダ(株)の研究倫理委員会にて承認を得た上で、被験協力者に説明を行い本人の参加同意を書面で確認し、撮影に臨んだ。

2.3 角度データ分析

脊椎及び骨盤について、7項目の角度計測を実施した。脊椎部 (Spine) は、①頸椎、②胸椎、③胸腰椎、④腰椎について最上位椎体の上端に平行な線と最下位椎体の下端に平行な線から成る角度を計測した。また骨盤部 (Pelvis) は、⑤仙骨と骨盤に対してその上端に平行な線と水平線から成る角度、及び⑥上前腸骨棘 (Anterior-Superior Iliac Spine; ASIS) と恥骨結合を結ぶ線と垂線から成る角度について計測を行った。各角度の略称を以下に示す。また、角度の簡略図をFig. 3に示す。

- ① Cervical Curvature (CC) :
第2頸椎 (C2) - 第7頸椎 (C7) 角度⁽⁷⁾
- ② Thoracic Kyphosis (TK) :
第5胸椎 (T5) - 第12胸椎 (T12) 角度⁽⁷⁾
- ③ Thoracolumbar Kyphosis (TLK) :
第10胸椎 (T10) - 第2腰椎 (L2) 角度⁽⁸⁾
- ④ Lumbar Lordosis (LL) :
第1腰椎 (L1) - 第5腰椎 (L5) 角度^(7,9)
- ⑤ Sacral Slope (SS) :
仙骨 (Sacrum) と水平線の角度^(7,9)
- ⑥ Pelvic angle (PA) :
ASIS - 恥骨結合と垂線の角度⁽¹⁰⁾

※①～④の各角度について+を前弯 (前方に湾曲)、-を後弯 (後方に湾曲) とする。また、⑤は仙骨の上面が水平線より上の場合を前傾、⑥はASIS - 恥骨結合の線が垂線より前の場合を前傾と定義する。

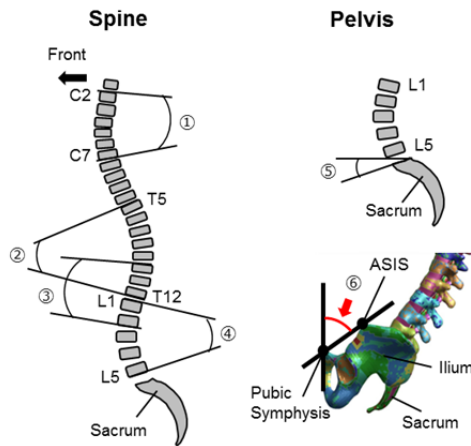


Fig. 3 Measurement Items for Spine and Pelvis

2.4 人体FEモデル作成及びシミュレーション

腸骨へのシートベルトの掛かり方と骨盤周りの挙動について分析を行うため、得られた角度のうち⑥PAについて正規分布図を描き、50%ile（座位時のアライメントがS字タイプ）、及び1%ile（座位時のPAが最も後傾するタイプ）の角度値を参考にTHUMS AM50 ver.4 の上肢、下肢、頸椎、寛骨臼付近の変位・回転を拘束し、腰椎及び骨盤に強制変位・回転を与えてそれぞれの角度を再現したモデルを作成した。加えて、挙動の傾向比較を行うため、中間値として10%ileの角度値を再現したモデルも同様に作成した。これらのモデルを用いてJNCAP Full Lap前面衝突（衝突速度56km/h）のシミュレーションを行った。プリテンショナー及びロードリミッター付シートベルトを使用し、脊椎を改変した人体モデルを運転席に着座させ、車体及び他の内装はマツダの代表的なものを用いた。

3. 結果及び考察

3.1 座位骨格アライメントの個体差

75名分の角度データを基に、座位骨格アライメントを分析すると、腰椎が前弯（Lordosis）し全体的に緩やかなS字を示すタイプと腰椎も後弯（Kyphosis）し脊椎全体が後弯したタイプに大別され、S字タイプはn=39、後弯タイプはn=36でいずれも約半数の割合となることが明らかとなった（Fig. 4）。更に、相対的に腰椎が前弯すると骨盤も前傾し、一方腰椎後弯では骨盤も後傾する傾向であった。

また、男女別に骨格の各角度の個体差範囲を調べると、脊椎下部、特にLL及びPAでバラつきが大きく、前弯角及び前傾角度の最大値と最小値の差は約50°あることが分かった（Fig. 5）。

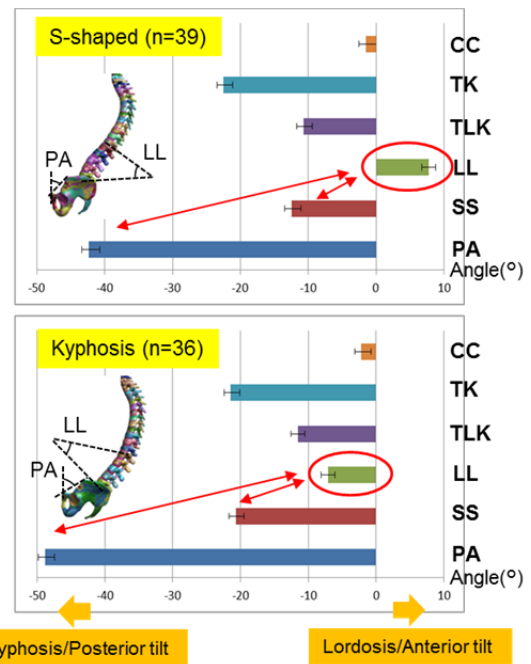
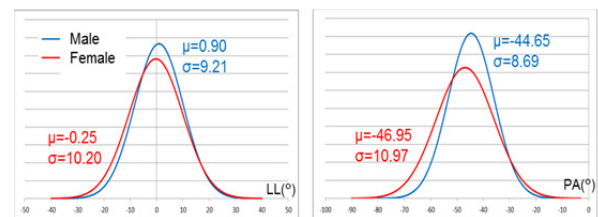


Fig. 4 Two Types of Skeletal Alignment in Seated Posture

	CC		TK		TLK	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Min.	-26°	-25°	5°	5°	-7°	3°
Max.	13°	12°	44°	35°	30°	20°
Ave.	-1°	-3°	20°	24°	10°	12°

	LL		SS		PA	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Min.	-22°	-26°	-33°	-33°	-62°	-67°
Max.	26°	21°	5°	-1°	-29°	-20°
Ave.	1°	0°	-15°	-19°	-45°	-47°



(a) Lumbar Lordosis (LL) (b) Pelvis Angle (PA)
Fig. 5 Variability Range of Skeletal Alignment in Seated Posture

この2つの角度が特に個体差の範囲が大きいことから、これら角度について年齢・性別・BMIとの相関を調べた。結果は、現状75名分のデータではいずれの因子とも強い相関性は見られなかった（Fig. 6）。

骨盤は、ASISの形状やASIS-PSIS（上後腸骨棘；Posterior-Superior Iliac Spine）間の長さ、ASISから恥骨結合までの距離に個体差がある。これらの因子はPAに影響を与える可能性があり、今後骨盤形状の個体差と年齢・性別・BMIとの関係性を調べる必要があると考えられる。

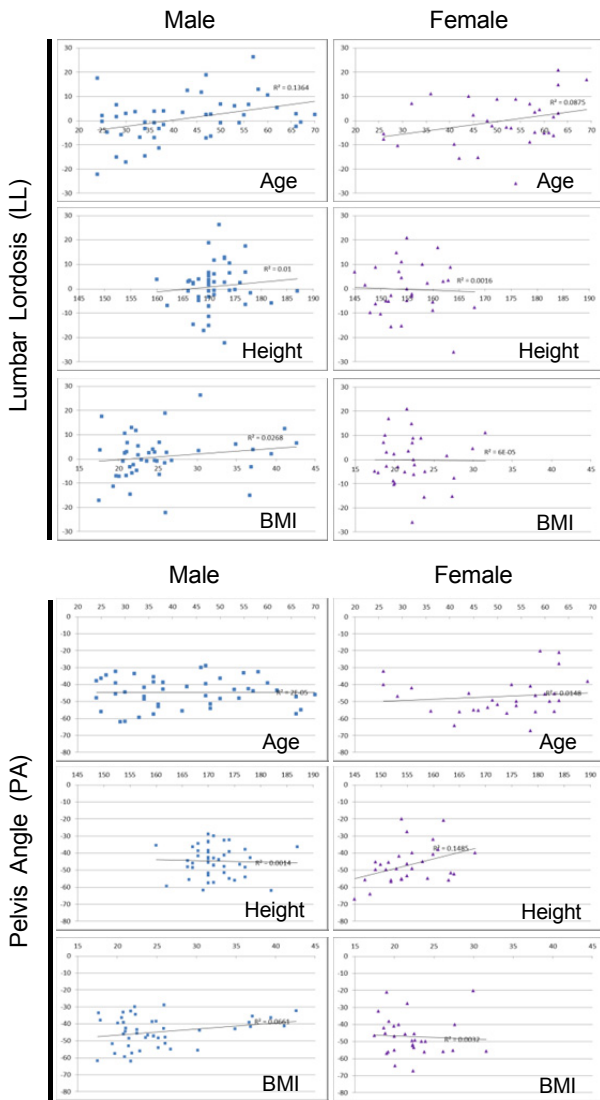


Fig. 6 Analysis on Angle of Lumbar Spine and Pelvis for 75 Subjects by Gender

3.2 人体FEモデルによる挙動解析

骨格アライメントの違いによる前突時の、特に腹部・腰部挙動への影響を解析するため、取得したPAについて正規分布を描いた (Fig. 7)。代表的なPA値として、座位S字タイプ50%ileに相当する -45° 、及び座位後弯タイプ1%ile相当の -67° (PA最後傾)、中間値10%ile相当の -57° を選定し、それらを参考値としてTHUMS脊椎を修正、3タイプのモデルを作成した。各モデルを用いて挙動を解析すると、いずれのモデルでもシートベルトは腸骨に掛かっており腰がしっかり拘束されていることも確認できたが、PAが後傾である程腸骨上でのベルトずれ上がり量が多いことも分かった (Fig. 8)。更に、骨盤の後方への回転量及びシート座面上での前方への移動量もPAが後傾である程大きくなることが明らかとなった。これらの挙動に加え、腸骨へのシートベルトの掛かり方がベルトのずれ上がりに関与していると考えられる。つまり、

ベルトが腸骨に対してほぼ垂直に掛かる場合、拘束時の荷重は垂直に骨盤に掛かるが、腸骨に対して掛かりが浅い場合荷重は骨盤に対して垂直方向 (F^2) と水平方向 (F^2) に分散され、水平成分の力がベルトのずれ上りを促進させていると推察される (Fig. 9)。

事故時の乗員拘束性を確保するためには、背筋を伸ばし胸を張って脊椎のS字及び骨盤を立てた姿勢を保持することが重要であると考えられる。

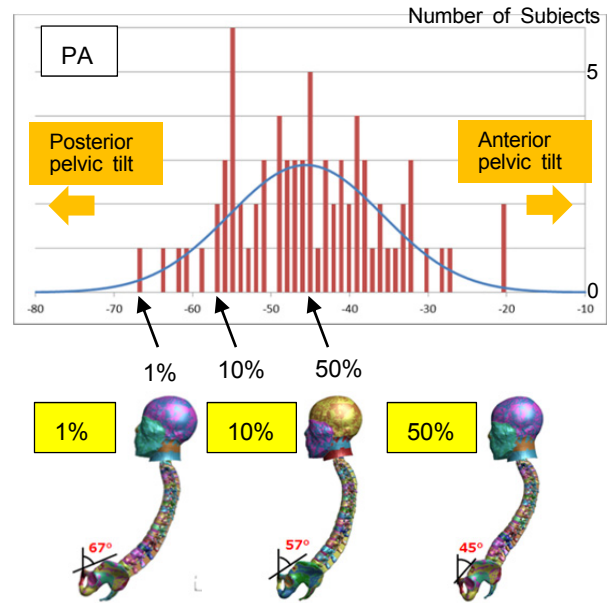
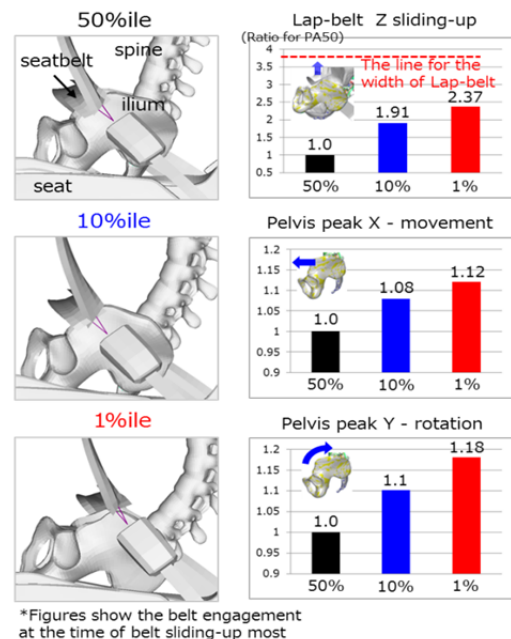
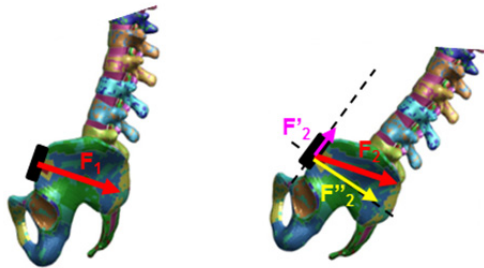


Fig. 7 Normal Distribution of Pelvic Angles and Human Models Equivalent to Each Percentile



*Figures show the belt engagement at the time of belt sliding-up most

Fig. 8 Behavior Analysis Using Three Models Which Modified Pelvic Angle



(a) Anterior Pelvic Tilt (b) Posterior Pelvic Tilt
 Fig. 9 Relationship between Engagement of Seatbelt and Loading to Ilium

3.3 ダイナミック性能・安全性能を両立したシート開発

次世代用に開発したシートは、「骨盤を正立させること」を目指し、それにより「自然な脊椎のS字を促し、腰椎も前弯を維持できる」ことをコンセプトとしている。これを実現することで、クルマのダイナミック性能が向上し、より「人馬一体」を感じられると考えている。加えて、快適性・安全性につながる正しい姿勢を自然に作り出すことも可能となる。このシートに着座した際の骨格アライメントを調べるため、レントゲン撮影を行った。その結果、アクセラシートにおいてそれぞれ座位S字タイプ、後弯タイプであった2名の被験者いずれでも骨盤(SS)が前傾傾向となり、それに伴う腰椎(LL)前弯が確認できた (Fig. 10)。



Fig. 10 Change of Skeletal Alignment between two Seats

4. まとめ

本研究において、自動車シートに着座した際の骨格アライメントのデータが収集され、データ分析から座位骨格アライメントは大きく分けて腰椎前弯を伴ったS字タイプと頸椎から腰椎まで全体的に後弯するタイプの2種類あることが分かった。現状データからは、角度と年齢・性別・BMIとの間に相関は見られなかった。

また、脊椎を修正した人体モデルによる挙動解析から、いずれもシートベルトは腸骨に掛かっていたが、PAが後傾になる程ずれ上がりが大きくなることが明らかとなり、乗員拘束性を考える上で骨盤を立て脊椎をS字に保つことが重要であると示された。

次世代用に開発されたシートは、この「骨盤を正立させ、それにより自然な脊椎のS字を作り出す」ことが確認できた。しかしながら、ダイナミック性能及び安全性能それぞれの観点で、長時間運転時の姿勢保持等取り組むべき研究も残っており、今後も「人間中心」の視点からシート形状や構造を追究していきたい。

本研究は、多くのボランティアの方に被験のご協力を頂いた。また、撮影・データ分析・モデル作成は、山口大学医学部附属病院整形外科の先生方や放射線部の診療放射線技師の皆様、工学部機械工学科の先生方のご協力により行った。

参考文献

- (1) E.G. Daniel et al.: An analysis of sagittal spine alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers., SPINE, Vol.20, No.12, pp.1351-1358 (1995)
- (2) T. Brazier et al.: Sitting and standing postural analysis through car seat comfort considerations, SAE paper No. 2002-01-2060 (2002)
- (3) J.A. Pramudita et al.: Variation of spinal alignment in standing and automotive seated postures, IRCOBI Asia Conference, pp.28-29 (2016)
- (4) H.W.D. Hey et al.: How the spine differs in standing and in sitting—important considerations for correction of spinal deformity. The Spine Journal, Vol.17, pp.799-806 (2017)
- (5) M. Kathleen et al.: The influence of different sitting positions on cervical and lumbar posture, SPINE, Vol.21, No.1, pp.65-70 (1996)
- (6) H.W.D. Hey et al.: Differences in erect sitting and natural sitting spinal alignment - insights into a new paradigm and implications in deformity correction, The Spine Journal, Vol.17, pp.183-189 (2017)

- (7) F. Sato et al.: Analysis of the alignment of whole spine in automotive seated and supine posture using an upright open MRI system, JSAE Annual Congress (Spring), pp.1754-1760 (2015)
- (8) Y.H. Yin et al.: Comparison between the antero-posterior and posterior only approaches for treating thoracolumbar tuberculosis (T10-L2) with kyphosis in children: a minimum 3-year follow-up, Childs Nerv Syst., Vol.32, No.1, pp.127-133 (2016)
- (9) J. Legaye: The femoro-sacral posterior angle: an anatomical sagittal pelvic parameter usable with dome-shaped sacrum, Eur Spine J., Vol.16, pp.219-225 (2007)
- (10) T. Kyo et al.: Factors predicting change in pelvic posterior tilt after THA, Orthopedics., Vol.36, No.6, pp.e753-e759 (2013)

■ 著 者 ■



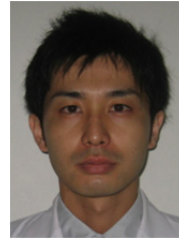
泉山 朋大



西田 周泰



朝日 龍介



山縣 大樹



岩永 秀幸



大木 順司



澤井 亮



虫谷 泰典



杉本 繁



上野 正樹