

鞭打ち傷害低減シートの開発 Development of Seat to Reduce Whiplash Injuries

松村 広隆^{*1} 横山 暢彦^{*2} 西田 靖彦^{*3}
 Hirotaka Matsumura Nobuhiko Yokoyama Yasuhiko Nishida
 上野 正樹^{*4} 尾川 茂^{*5}
 Masaki Ueno Shigeru Ogawa

要約

市場事故での死傷者数低減の観点から、追突事故で発生する鞭打ち傷害の低減は重要課題である。本稿では、鞭打ち傷害の発生要因となる首の歪曲を評価する傷害値指標NIC (Neck Injury Criterion) の低減に着目し、これを低減する分析手法を紹介する。まずシート構成部品の機能を明確化してパラメータを決定した後、CAE解析を活用して品質工学に基づくパラメータ分析を実施し、部品特性を最適化した。その結果、NICを現状より約28%低減できる部品特性の最適バランスを見出した。

Summary

It is extremely important to reduce whiplash injuries caused by rear-end crash accidents from the viewpoint of decrease in the number of collision casualties in the real world. This paper focuses on how to reduce NIC (Neck Injury Criterion) that is an indicator to assess the distortion of the neck during the whiplash accidents with analytical methods. First parameters were determined by clarifying the function of the components of the seat, and then the characteristics of the each seat component were optimized by parametric study based on quality engineering. As a result, the analytical methods led to the optimal balance of seat component properties that can reduce NIC by 28%.

1. はじめに

1.1 市場事故データ

Fig.1に示す2008年の警視庁事故統計データによると、日本国内で発生した衝突事故の31%が追突で、最も多い事故形態である⁽¹⁾。更に、ITARDA (助交通事故総合分析センター) の調査によると、追突事故における被追突車両の乗員の約87%が頸部に軽傷を負う、いわゆる鞭打ち傷害となっている⁽²⁾。鞭打ち傷害は生命を脅かすほどの傷害ではないものの、市場での発生頻度が高く、傷害を負う乗員が多い。そのため、市場事故における死傷者数低減の観点から、鞭打ち傷害の低減は重要な課題であり、各自動車メーカーは研究に力を入れている。

1.2 鞭打ち傷害低減性能評価の動向

こうした状況下、世界市場では鞭打ち傷害の低減性能を

評価する動きが拡大している。Table 1に示したトレンドのように、米国のIIHS (Insurance Institute for Highway Safety)、欧州のENCAP (European New Car Assessment Program) で評価が実施されており、日本でも2009年からJNCAP (Japan New Car Assessment Program) の評価に追加された。これらの市場評価で、鞭打ち傷害低減に有効

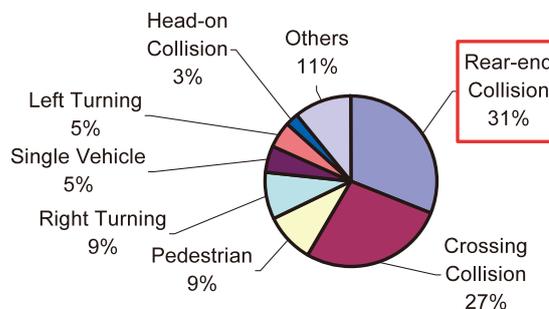


Fig.1 Percent of Collision by Crash Type

*1~5 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

Table 1 Market Test Trend

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
USA	IIHS	★	→	→	→	→	→	→	→
EU	Thatcham*	★	→	→	→	→	→	→	→
	ENCAP					★	→	→	→
JPN	JNCAP						★	→	→

*Research Centre established by British Insurers ★Test Start

とされるシート構造のひとつに、アクティブヘッドレスト機構（以下AHR）がある。AHRとは、乗員の頭部を素早く支えるため、被追突時に瞬時にヘッドレスト（以下HR）を前方、および上方へ移動させる機構の総称である。当社でも鞭打ち傷害の低減施策としてAHRを開発し、アクセラ（2009 Model Year）に搭載しており、米国IIHSでは『Good』、欧州ENCAPでは鞭打ち評価を含めた総合評価で『5星』という高い評価結果を得ている。

本論文では、AHRの更なる性能向上のため、CAE解析を活用した品質工学に基づくパラメータ分析を実施し、既存シートの部品特性を最適化した結果を報告する。

2. 鞭打ち傷害評価指標の概要

2.1 鞭打ち傷害評価方法

鞭打ち傷害の評価方法として一般的に実施されているBioRID II ダミーを用いた試験方法について説明する。BioRID IIとは鞭打ち傷害評価用に開発された後突用のダミーであり、試験はFig.2に示すようにBioRID II、シートおよび被追突時の衝突パルスを再現可能なスレッド試験装置を用いて実施する。まず、試験装置の台上にシートを固定し、シート上にBioRID IIを着座させる。そこにFig.3に示すような衝突パルス（ $\Delta V=16\sim 24\text{km/h}$ 相当）を与える。鞭打ち評価では被追突側車両の挙動を再現するため、シートが前方に移動する方向に衝突パルスを与える。このとき、ダミー各部の計測装置（荷重計、加速度計等）のデータから、頸部に発生する傷害値を算出して評価する。

2.2 鞭打ち傷害の評価指標NICについて

被追突時の頸部周辺はFig.4に示す挙動が発生し、特にPhase2の歪曲、Phase3の後屈により鞭打ち傷害が発生すると考えられている⁽³⁾。鞭打ち傷害の評価指標はNIC (Neck Injury Criterion)⁽⁴⁾、Fx（首上部のせん断荷重）、HRV（Head Rebound Velocity：頭部の反発速度）等がある。NICは頸部の歪曲を評価する代表的な指標であり、ENCAP・JNCAPに採用されている。今回は、このNICの低減による頸部の歪曲の抑制に注力してシート特性の最適化を実施した。

以下、NICについて説明する。NICはダミーの頭部中心、および第一胸椎（以下T1）の前後方向の相対加速度、および相対速度により算出される傷害値であり、正の値の最大値で評価される。NICの計算式を以下に示す。

$$NIC(t) = 0.2 \times A_{rel}(t) + (V_{rel}(t))^2 \quad [\text{m}^2/\text{s}^2] \quad (1)$$

$$A_{rel}(t) = A_x^{T1}(t) - A_x^{Head}(t) \quad (2)$$

$$V_{rel}(t) = V_x^{T1}(t) - V_x^{Head}(t) \quad (3)$$

ここで

$$A_x^{T1}(t) : \text{T1 x-acceleration} \quad [\text{m}/\text{s}^2]$$

$$A_x^{Head}(t) : \text{Head x-acceleration} \quad [\text{m}/\text{s}^2]$$

$$V_x^{T1}(t) : \text{T1 x-velocity} \quad [\text{m}/\text{s}]$$

$$V_x^{Head}(t) : \text{Head x-Velocity} \quad [\text{m}/\text{s}]$$

理論上では式(2)、(3)がゼロ、つまり頭部中心とT1の相対加速度と相対速度が常にゼロであればNICは発生しない。しかし、一般的な前席乗員の着座姿勢を考えると、通常は頭部とHRが離れた状態で着座している。そのため、被追突時にHRによる頭部の拘束が遅れ、頭部とT1に挙動差が生じてNICが発生する。

NICの計算式とこれまでの研究結果から、NICの低減コンセプトとして、①頭部の拘束タイミングを早くすること、②T1の拘束力を弱めること、が重要であるとされている⁽⁵⁾。

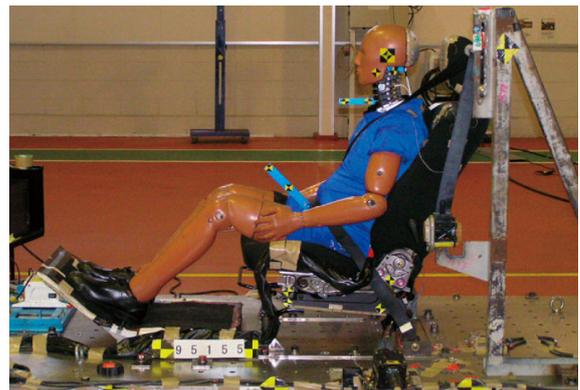


Fig.2 Sled Test

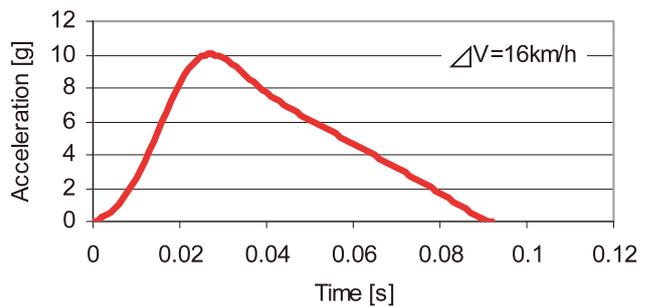


Fig.3 Crash Pulse (IIHS, ENCAP-MIDpulse)

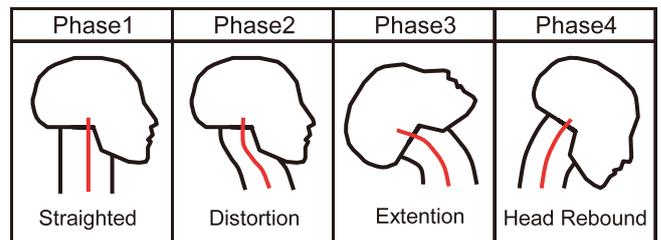


Fig.4 Whiplash Movement

3. 品質工学に基づくパラメータ分析方法

3.1 CAE解析モデル

BioRID II による鞭打ち傷害評価試験を再現したCAE解析モデルをFig.5に示す。CAE解析モデルはダミーモデル、シート単体のFEモデルおよび試験パルスを与えるためのフロアモデルにより構成される。解析ソルバは非線形構造解析ソフトであるLS-DYNA (Ver.971) を用い、ダミーモデルはDYNAmore社製のBioRID II ダミーモデル (Ver.2.5) を使用した。

3.2 パラメータ選定

当社のAHR構造をFig.6に示す。シートバックフレームに取り付けられたインナフレームの受圧板で乗員腰部の慣性力を受け、この力でインナフレーム全体が振り子状に動き、HRを前に移動させる構造である。今回の分析に用いたパラメータをFig.7, Table 2に示す。パラメータの選定は、鞭打ち傷害のメカニズムに基づきシート各部件の機能を明確にした後、開発エンジニアの知見により、AからLまでの12項目を選定した。

3.3 品質工学に基づくパラメータ分析

パラメータ分析は品質工学の考え方にに基づき、2段階設計により最適化を実施した。計算回数効率化から、直交表は8パラメータを同時に検証可能とするためのL18直交表を用いた。

まず、STEP1として、12項目のパラメータの中から、特に寄与度の高い8項目を選択し、ロバスト性の向上に着目して最適特性を求めた。続いて、STEP2として、STEP1の結果の中から、寄与度の高いパラメータ4項目とSTEP1で未検証の残り4項目を用いて、傷害値の低減に最適な特性を求めた。

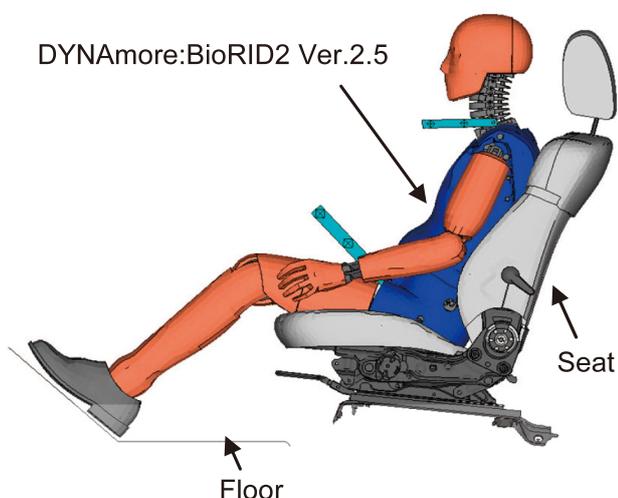


Fig.5 CAE Analysis Model

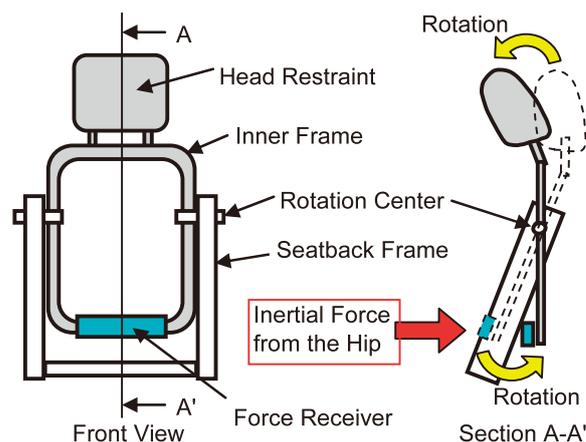


Fig.6 Active Head Restraint Mechanism

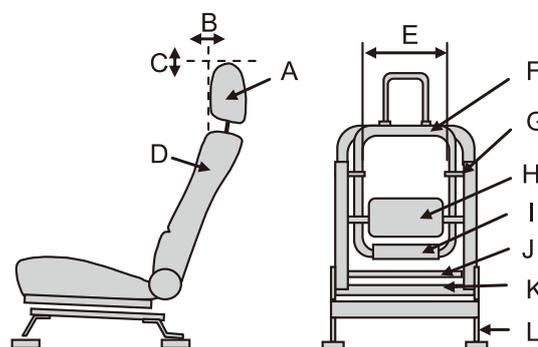


Fig.7 Parameters

Table 2 All Parameters

Parameter	Level		
	1	2	3
A Head Restraint Stiffness	High	Normal	Low
B Head Restraint Backset	Front	Normal	Rear
C Head Restraint Height	High	Normal	Low
D Seat Back Stiffness	High	Normal	Low
E Inner Frame Width	Wide	Normal	
F Inner Frame Stiffness	High	Normal	Low
G AHR Locking System	Add	Non	
H Lumbar support Stiffness	High	Normal	Low
I Force Receiver Area	Large	Normal	Small
J Lower Rod Stiffness	High	Normal	Low
K Lower Plate Stiffness	High	Normal	Low
L Seat Lifter Stiffness	High	Normal	Low

4. 結果および考察

4.1 STEP1ロバスト性の改善

STEP1の検討パラメータと最適特性をTable 3, SN比の要因効果図をFig.8に示す。NICのロバスト性に対してはA: HRウレタン強度, B: HR前後位置, の寄与度が高い結果が得られ, SN比が高い特性を最適特性とした。これにより, Fig.9の模式図に示すように, 現状からのバラつき幅は約31%改善, 中央値は50%悪化という結果を得た。ここでは中央値の悪化は問題とせず, パラメータのA, B, CおよびDは寄与度が高いためSTEP2で引き続き検証することとし, 残りのE, H, IおよびLはTable 3に示す最適特性を採用し, これをSTEP2のベースモデルとした。

Table 3 STEP1 Parameters

STEP1 Parameter		Level			Optimum Characteristic
		1	2	3	
A	Head Restraint Stiffness	High	Normal	Low	A3 Low
B	Head Restraint Backset	Front	Normal	Rear	B3 Rear
C	Head Restraint Height	High	Normal	Low	C1 High
D	Seat Back Stiffness	High	Normal	Low	D3 Low
E	Inner Frame Width	Wide	Normal	Low	E1 Wide
H	Lumbar support Stiffness	High	Normal	Low	H2 Normal
I	Force Receiver Area	Large	Normal	Small	I1 Large
L	Seat Lifter Stiffness	High	Normal	Low	L1 High

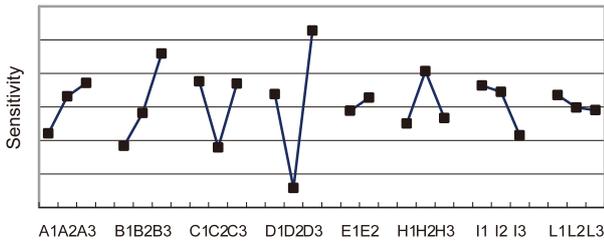


Fig.8 Sensitivity of STEP1 Parameters

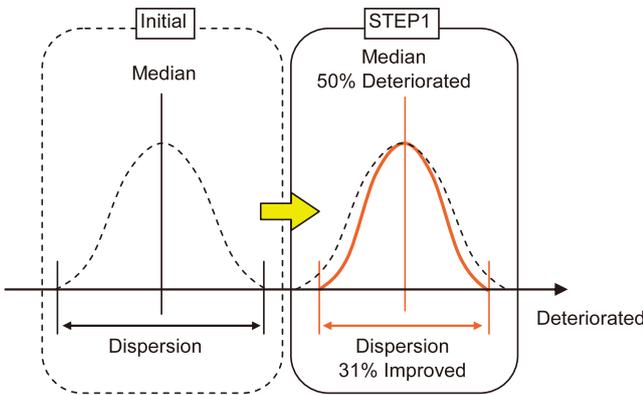


Fig.9 STEP1 Results

4.2 STEP2傷害値の改善

STEP2の検討パラメータと最適特性をTable 4, 感度の要因効果図をFig.10に示す。NIC低減に対してはA: HRウレタン強度, B: HR前後位置, D: バックウレタン強度, F: インナフレーム強度の寄与度が高い結果が得られ, 感度が下がる特性を最適特性とした。これにより, NICはFig.11の模式図に示すように現状からのバラつき幅は約10%改善し, 中央値は約28%改善する結果を得た。

STEP2により, 頭部の拘束タイミングを遅くすること, 頭部の拘束力を弱めること, T1の拘束力を高めることがNICの低減を可能とする結果を得た。しかし, これはNIC低減の従来コンセプトの①頭部の拘束タイミングを早くすること, および②T1の拘束力を弱めること, と相反する結果である。

4.3 パラメータ分析結果の考察

従来コンセプトと異なる結果によってNICが改善された要因を分析するため, STEP2のベースモデルと最適モデルについて, 頭部とT1の加速度およびNICの波形を比較した。

Fig.12に示すSTEP2ベースモデルの頭部加速度は, 初期ピークは高いが, その反発でピーク後に急激に加速度が低下しており, 逆にT1では, 頭部と入れ替わって加速度が高まる。このタイミングでの頭部とT1の相対加速度が大きくなり, Fig.14に示すような高いNICが発生している。これに対し, Fig.13の最適モデルは, 頭部とT1の加速度波形が一致しているため, 相対加速度が小さく, Fig.14に示すようにNICが低い。

以上の結果から, ベースモデルは従来コンセプトの頭部の拘束タイミングを早め, T1の拘束力を弱めることが過剰になりすぎていたことが要因で, 頭部とT1に挙動差が発生し, NICが高くなったと考えられる。品質工学に基づきシート各 부품のパラメータ分析を実施することにより, 従来コンセプトで過剰となっていた特性を最適化し, 全体のバランスが改善され, NICが低減できたといえる。

Table 4 STEP2 Parameters

STEP2 Parameter		Level			Optimum Characteristic
		1	2	3	
A	Head Restraint Stiffness	High	Normal	Low	A3 Low
B	Head Restraint Backset	Front	Normal	Rear	B3 Rear
C	Head Restraint Height	High	Normal	Low	C3 Low
D	Seat Back Stiffness	High	Normal	Low	D1 High
F	Inner Frame Stiffness	High	Normal	Low	F3 Low
G	AHR Locking System	Add	Non	Non	G2 Non
J	Lower Rod Stiffness	High	Normal	Low	J3 Low
K	Lower Plate Stiffness	High	Normal	Low	K3 Low

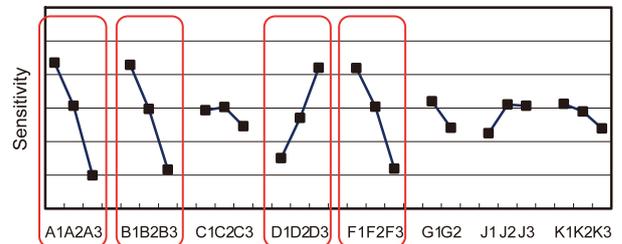


Fig.10 Sensitivity of STEP2 Parameters

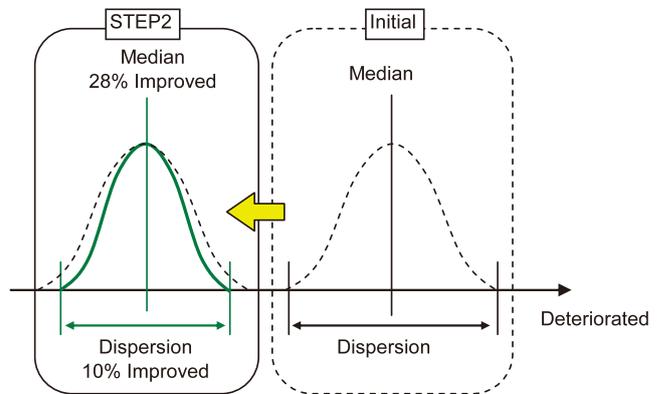


Fig.11 STEP2 Results

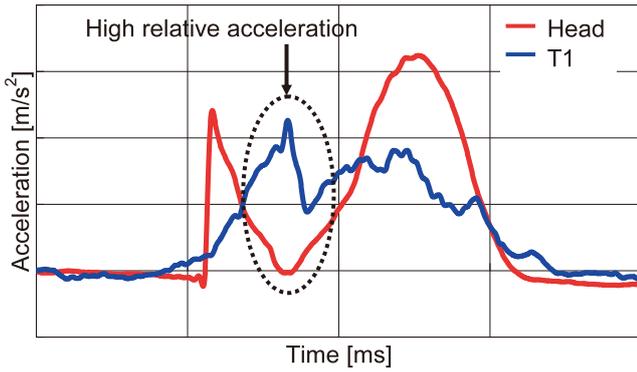


Fig.12 Initial Model Acceleration Pulse

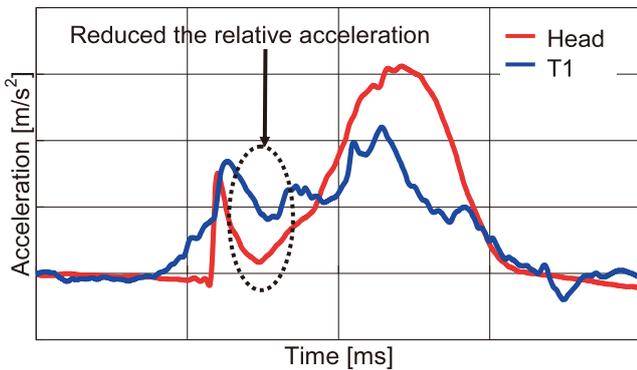


Fig.13 Optimum Model Acceleration Pulse

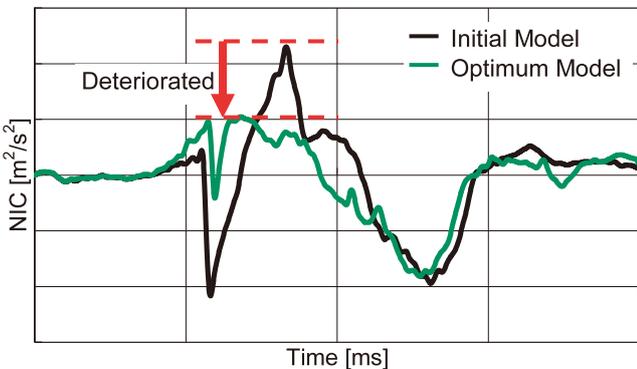


Fig.14 NIC Pulse

5. 結言

本研究によりNICの低減について以下の結果を得た。

- ① 品質工学に基づいたパラメータ分析によりNICに対して寄与度の高いシートパラメータを明確にした。
- ② シートの部品特性を最適化することでNICのロバスト性を約10%改善し、傷害値を約28%低減した。
- ③ NICの低減には、頭部の拘束を早めつつ乗員の拘束バランスを考慮し、頭部と第一胸椎 (T1) の挙動差を発生させないことが重要である。

6. おわりに

今回の研究によりAHRによるNICの大幅な低減が可能となった。今後も更なる研究を進め、追突事故による鞭打ち症の受傷者数ゼロを達成可能なシートの開発を実現し、より安全な車を全てのお客様の元へ届けたい。

参考文献

- (1) 警視庁交通局：平成20年中の交通事故の発生状況 (2009)
- (2) ITARDA (財交通事故総合分析センター)：ITARDA INFORMATION,66 (2007)
- (3) Muser et al.：Biomechanical Significance of the Rebound Phase in Low Speed Rear End Impact, International IRCOBI Conference (2000)
- (4) Boston et al.：A new neck injury criterion candidate based on injury findings in the cervical spinal ganglia after experimental neck extension trauma, IRCOBI Conference (1996)
- (5) 金子直樹ほか：鞭打ち低減シートの開発, マツダ技報, 15, 23 (2005)

■ 著 者 ■



松村広隆



横山暢彦



西田靖彦



上野正樹



尾川 茂