

二輪車空力シミュレーションシステムの構築と適用例

Establishment of an Aerodynamic Simulation System for Motorcycles and Its Application

渡部 尚*

Takashi WATANABE

岩朝 睦美*

Mutsumi IWASA

大久保 武文*

Takefumi OKUBO

青木 浩之*

Hiroyuki AOKI

要 旨

二輪車空力特性を開発初期段階で予測することをねらいとする、数値シミュレーションシステムを構築した。複雑な形状をもつ二輪車のモデリングやメッシュ作成作業をできるだけ短時間でを行うため、直交格子に空間占有率を用いる手法を採用した。このシステムを開発に適用して、精度、解析時間などの評価を行った。その結果、空気抵抗値の予測やウインドプロテクションの予測において十分なレベルの予測精度が得られた。

ABSTRACT

A numerical simulation system for motorcycles was constructed aiming at predicting aerodynamic characteristics of the bodies at the early stage of development. In order to shorten the time for constructing a complete model of a motorcycle, which has fairly complicated shape, and generating meshes on the model as quickly as possible, a mesh of orthogonal type with porosity at each cell was adopted. An evaluation of this system regarding to accuracy and time needed for analysis was done by applying this system to some of motorcycles actually under development. As a result, sufficient level of accuracy was obtained in predicting aero resistance forces and wind protection performances.

1. はじめに

近年、開発期間の短縮化の要請が強まる中で、それに応える手段として、さまざまなコンピュータシミュレーション(CAE)が開発に導入されてきている。流体解析は従来から計算モデルの作成に時間がかかり、計算時間が膨大にかかるということで、構造解析の分野に比べると実用度は低かった。自動車分野における空力シミュレーションは、1990年頃から四輪車に対して多く行われるようになった⁽¹⁾。それはスーパーコンピュータが普及し始めたことにより、この種の計算が初めて可能になったためと考えられる。しかしながら、この時期の計算は高価なスーパーコンピュータを使いながら計算時間は150時間⁽¹⁾にも及び、どちらかという空力計算が可能であるということを実証するための計算という性格が強かった。その後はコンピュータの高性能化とソフトウェアの改善などが行われ、現在では四輪車の分野においては、空力計算はほぼ定着している。

一方、二輪車の分野においては、現在まで計算事例の報告は極めて少なく、ホイール回りの流れなどパーツ単位での計算事例⁽²⁾は見られるものの、完成車全体の計算事例は

報告されていない。

その理由は以下である。

- (1) 一般に二輪車の車体形状は四輪車に比べると複雑であり、かつ人体もモデル化する必要があり、三次元のCADデータを作ることがかなり煩雑になる。
- (2) 流体計算を行うためには何らかの格子を作成する必要があるが、二輪車のような複雑な車体形状に計算実行可能な格子を作成することは技術的に難しい。
- (3) 二輪車の開発期間は四輪車に比べ短く、開発期間内にモデルを作り上げ、シミュレーションを実行することは容易でない。

このため、開発で使うツールという位置づけでシミュレーションシステムを構築するためには四輪車のシステムとは異なった見方が必要である。

2. 開発のねらい

二輪車の空気流れに関する設計項目は多岐に渡る。例えば、エンジンで発生した熱の排風や風切り音も対象であるが、今回は以下の二つの項目に絞ることにした。

*朝霞研究所

- ・空気抵抗値の削減
- ・ライダーへの風当たり具合の最適化(ウインドプロテクション性能)

従来、これらの項目の評価はテスト車を製作して風洞テストで行われていた。今回は、テスト車ができる前の開発の初期段階で上記二項目を評価できる空力シミュレーションツールを作ることを目標とした。シミュレーションは評価項目の予測精度が重要であるが、あまり時間を要しないでシミュレーションを実行できるということにも重点をおいた。

3. 技術的検討

3.1. 工数短縮化のための二つの課題

シミュレーションのモデリングプロセスを可能な限り短くするために、まず留意すべき点は三次元形状が作成され加工される各システム間において、データがスムーズに流れることが必要である。そのために考慮すべき点は以下のとおりである。

- ・デザイン部門で作った 3D データを上流データとして活用できること。
- ・CATIA とデータリンクすること。
- ・格子作成にあまり時間を要しないこと。

このようなデータの流れの中で二輪車完成車の三次元形状を作り、シミュレーション可能な状態にするためには二つの課題がある。

- ・二輪車モデルは 20 ～ 40 個の部品から構成されるが、部品間の干渉をなくして、単一のボリュームにしなければならない
- ・複雑な形状に対し計算格子を作成しなければならない。

これらの課題に対して、以下に述べる手法により工数があまりかからないように配慮した。

3.2. 単一ボリュームにするための課題

通常、多くの上流データは部品ごとに面データとして作られる。シミュレーションを行うためには、これらの干渉部分を全部無くして単一のボリュームにすることが必要である。このため、通常 CATIA などの CAD システム上で、手作業で面の不要部分の切り取りを行うか、または、ソリッドにしてブーリアン演算を行う必要がある。

そこで、実際に用いた手法は CATIA では一切干渉部分のマージは行わないで、後工程の空間格子作成段階で行うようにした。これは、次に述べる空間格子タイプを使うことによって可能になる。これにより全体としてのモデリング工数が少なくなるようにした。

3.3. 計算格子の選択

流体計算で使われる格子は次の 3 種類に分類される。

(1) BFC(形状に沿った曲線格子)^{(2), (3)}

(2) 非構造格子⁽⁴⁾

(3) 直交直線格子+空間占有率

(1)は従来から四輪車の空力シミュレーションによく使われている方法であるが、形状が複雑な二輪車に適用することは困難である。

(2)は複雑な形状にも対応できるので、最近、各方面で使用頻度が増えている。二輪車の空力シミュレーションへの有力な手法となり得るが、複数の物体から構成される二輪車車体のデータをソリッドのブーリアン演算等により単一ボリューム化することが前提となる。この作業は多大な工数を要する。

筆者らが採用したのは(3)の手法である。この格子は直線なので物体の形状を格子で表現することはできない。そこで格子によって構成される各要素(セル)の空間占有率という概念で物体の形状を表現するものである。格子占有率の手法は、まず各セルが空間であるか物質によって満たされているかを判断する。さらにセルの一部が空間である場合は、そのセルを囲む三つの面(二次元の場合は二つの面)における空間部分と物質部分の面積比率で形状を近似する方法である。二次元の場合に関する空間占有率(Porosity)の考え方を Fig. 1(a) に示す。ここで P_x , P_y が空間占有率の値であり、すべてのセルでこの値が定義される。Fig. 1(b) は車体全体の形状を空間占有率で表現したものである。各要素ごとに P_x , P_y を値に応じて色で表現している。完全に物質が占めるセルは赤色、部分的に空間が占める場合はその度合いに応じて異なった色がついている。

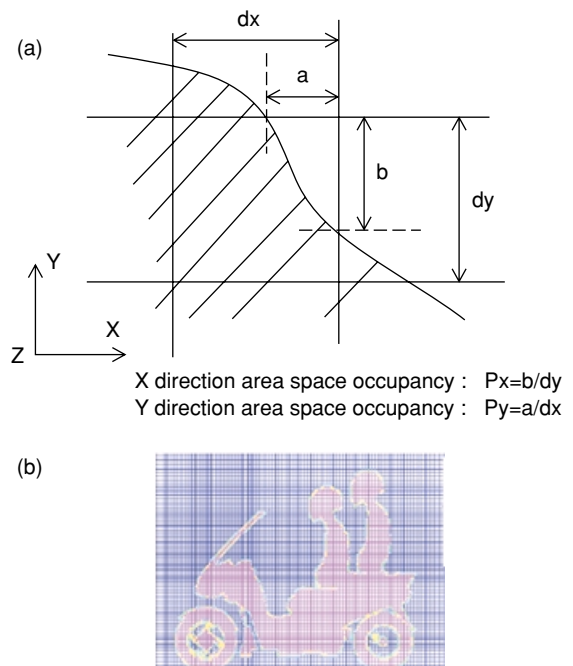


Fig. 1 (a) Concept of porosity; (b) Representation of an entire motorcycle model by porosity

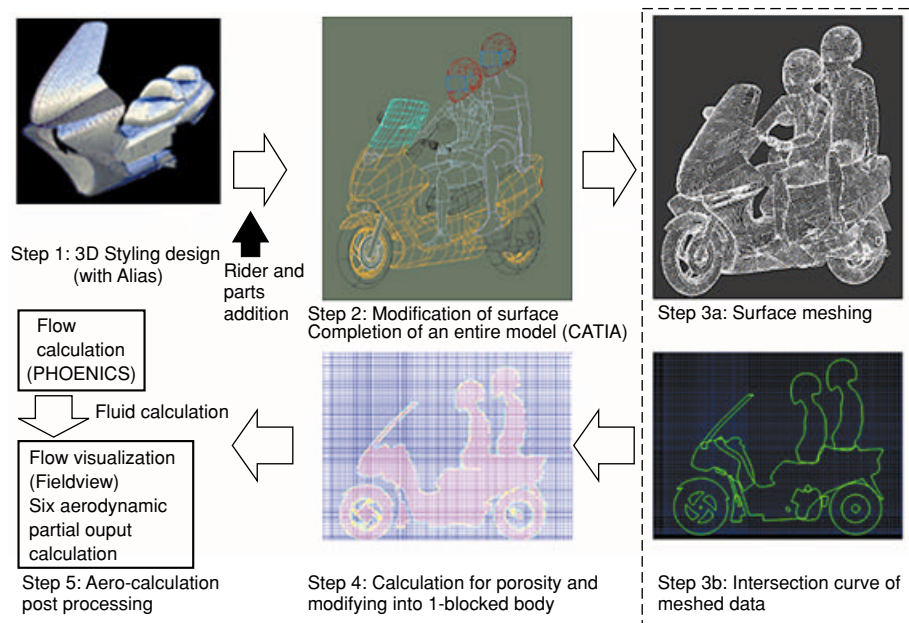


Fig. 2 Outline of system flow

3.4. ソルバの選定

ソルバの選定は、3.3. 項で述べた(3)の手法が使えることが前提になる。実際に使用したソルバは、英国CHAM社開発の PHOENICS である。このコードには(2)の機能はないが、(3)の手法を使う上では適したコードである。なお、計算上のオプションは以下のようにした。

乱流モデル：標準 $k - \epsilon$ モデル
 移流項：ハイブリッド法
 数値解法：simplest 法

4. システム概要

システムを構築するに当たって、市販ソフトと内作プログラムを適宜に組み合わせた。Fig. 2にシステムフローの概要を示す。以下に各ステップごとに説明する。

- Step 1：3D デザイン用データを Alias を用いて作成する。
 Step 2：Step 1 のデータを CATIA に転送し、小物部品の 3D 面データ追加する。
 Step 3：CATIA に組み込まれた内作メッシュジェネレータにより部品別にメッシュモデルを作成する。この後、Step 3aに示すように完成車の状態に合体させる。このとき、Step 3bの断面図に示すように部品間の干渉部分は残ったままでもよい。
 Step 4：直交計算格子及び形状データに相当する空間占有率のデータを作成し、部品間の干渉部分をマージして単一のボリュームにする。
 Step 5：Step 4 のデータを入力データとして前述の PHOENICS を用いて計算する。計算結果のファイルを読み込み空力 6 分力の計算を行う。結果の可視

化をする場合は、ファイル書式の変換を行った後、市販 POST プロセッサ FIELDVIEW で表示する。

5. 開発機種への適用

このシステムを開発機種に適用して計算精度を検証した。空気抵抗値、流線、圧力分布などを実車風洞のテスト結果と比較して検証した。供試車は、(a)スポーツタイプ車、(b)大型スクーターの二種類のケースである。

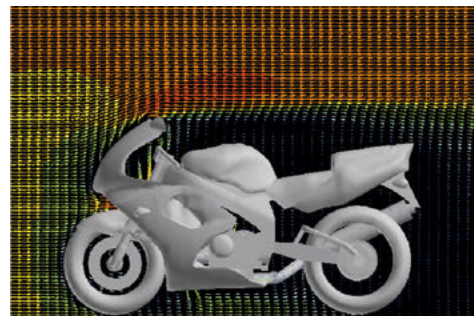


Fig. 3 Calculation result without rider

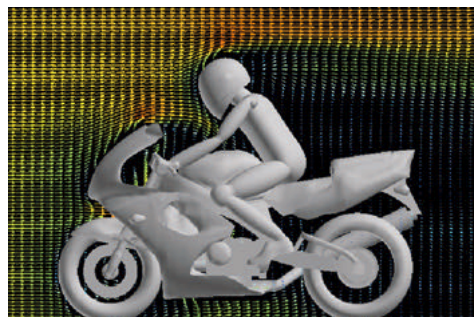


Fig. 4 Calculation result with rider

(a)スポーツタイプ車の場合

空車の場合とライダーが乗った場合について、空気抵抗値、前輪、後輪接地点における作用力をシミュレーション結果と風洞テスト結果で比較した。Fig. 3, Fig. 4は、シミュレーション結果の流速をベクトル表示したものである。Fig. 5, Fig. 6 は空気抵抗値、フロントタイヤ接地点における作用力、リヤタイヤにおける作用力を比較したものであり、両者はおおむね一致している。なお、このモデルの計算格子数 98 万、計算時間は sgi ORIGIN2000(180MHz *8CPU)で約 72 時間であった。

(b)大型スクータの場合

Fig. 7は計算用三次元シミュレーションモデル、Fig. 8は風洞テストの様子、Fig. 9は空気抵抗値の計算と実測の比較を示す。空気抵抗値については、この場合も良好な相関が得られた。

Fig. 10は表面圧力分布の計算結果及び風洞での圧力測定状況を示し、Fig. 11はそれらの比較を示す。この図におい



Fig. 7 Calculation model of a scooter



Fig. 8 Wind tunnel test

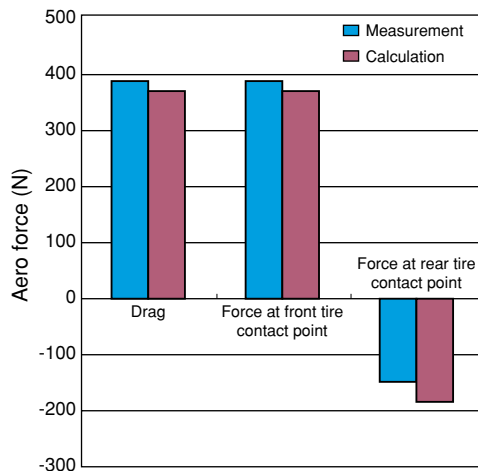


Fig. 5 Comparison of aero-dynamic forces between calculation and measurement (without rider)

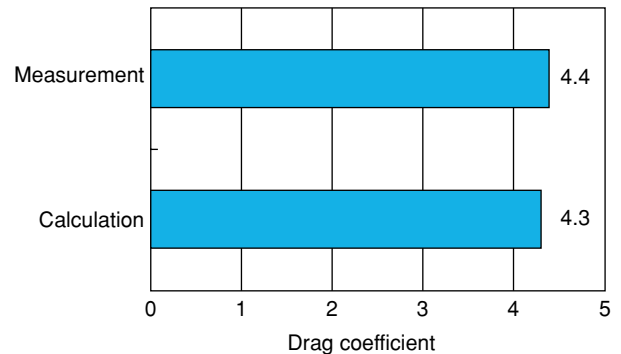


Fig. 9 Comparison of drag coefficients between calculation and measurement results

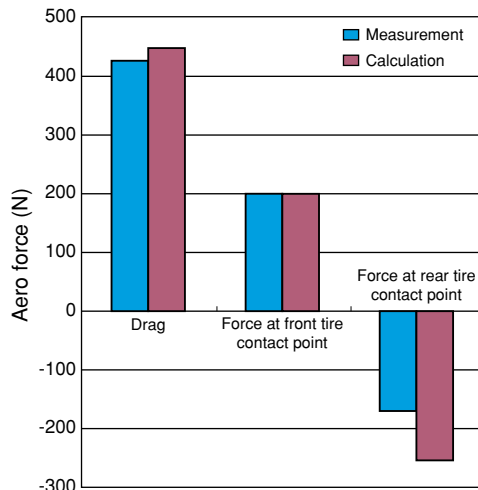


Fig. 6 Comparison of aero-dynamic forces between calculation and measurement (with rider)

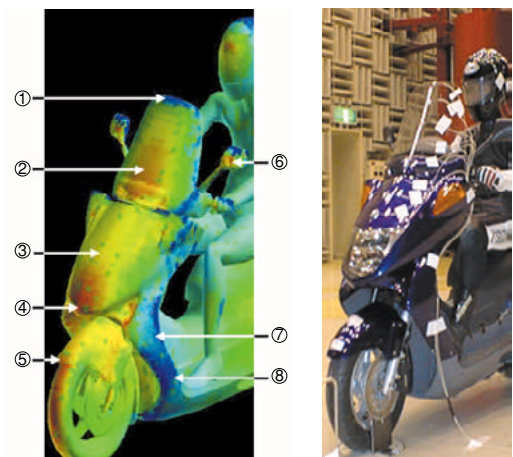


Fig. 10 Pressure distribution of a calculation result and a measurement scene in a wind tunnel

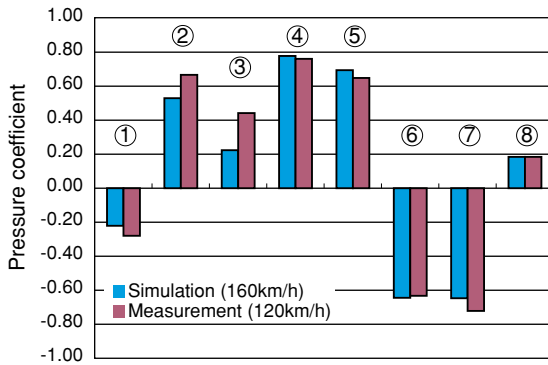


Fig. 11 Comparison of a calculation and measurement results of pressure on specified points

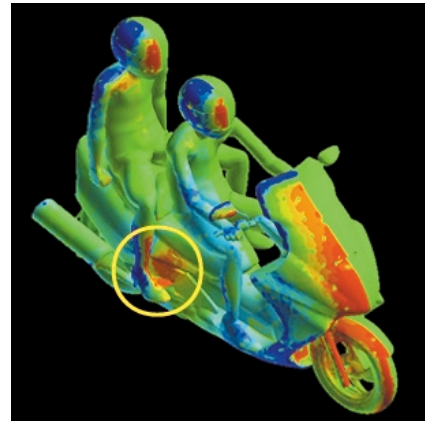


Fig. 14 Pressure distribution (Original fairing)

て、③以外は定量的によく一致しており、全体的な分布傾向もほぼ一致している。

Fig. 12 は計算結果の流線、Fig. 13 は風洞テストの流線を表す。両者はおおむね一致している。

以下に車体の仕様を変更した場合における計算結果の比較を示す。Fig. 14, Fig. 15はローフェアリング外縁部形状が異なる二種類の車体における表面圧力の計算結果を表わす。色の赤いところは圧力が高く、風当たりが強いことを意味する。それぞれの後部乗員下肢(膝から下)の部分に着目すると、Fig. 15 のほうが Fig. 14 より風あたりが弱くウインドプロテクション性能が改善されているのが分かる。

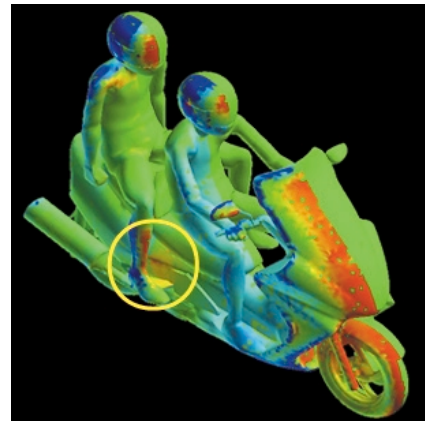


Fig. 15 Pressure distribution (Improved fairing)

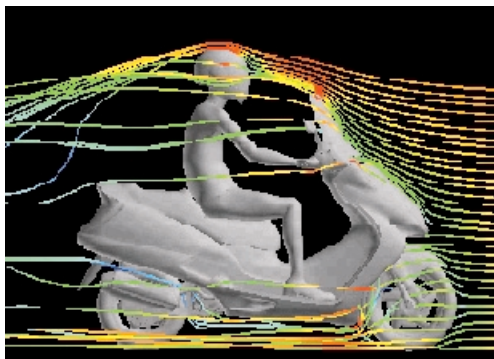


Fig. 12 Stream line of a calculation by scooter model



Fig. 16 Air folw pattern with occupants (low windscreen)



Fig. 13 Stream line of a measurement by actual scooter

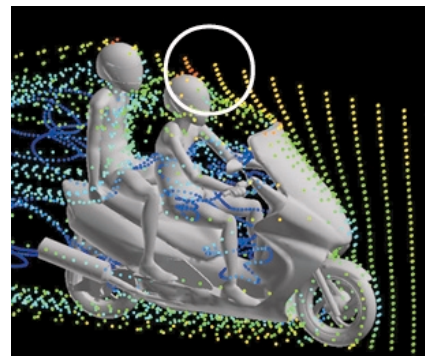


Fig. 17 Air flow pattern with occupants (high windscreen)

Fig. 16, Fig. 17は、ウインドスクリーンの仕様が異なる二つの車体回りの流れの計算結果を比較したものである。Fig. 17のウインドスクリーン形状はFig. 16のものより先端部がやや長く、かつ外側に反っている。Fig. 17のライダー頭部への風のあたり具合が緩和されているのが判る。

このように、乗員に対する風の当たり具合、いわゆるウインドプロテクション性能の検討としても活用できることも判った。

6. 全シミュレーション工数の短縮

空力シミュレーションを二輪車開発プロセスの中で活用するためには、モデリングから計算結果を得るまでの期間をできるだけ短くする必要がある。Fig. 18は2年前と現在における作業工数の内訳を示したものである。2年前はモデル作成するの約45日かかっていたのに対し、現在では約10日で行うことができる。作業項目の中で最も割合の大きいのは、「Model Creation」である。この部分が40日から17日に短縮された理由は、作業者のモデリング技術が向上したことに加え、モデリングに必要な上流データの3D化の割合が2年前に比べて増えたため、計算担当者自らデータを3D化する作業が減ったためである。このように空力シミュレーションを推進するためにはデザインデータや各部品データの3D化が極めて重要である。

2番目に割合の大きいのは計算時間である。2年前は計算格子数90万で約3日かかったが、現在は計算機を更新しているので180万メッシュを1.5日で計算することが可能になった。Pre-processing(Model Creationを除く)はツールの進歩により2日が1日になったが、Post-processingは約1日程度でほとんど変化はないが、全体に対する割合は小さいので大きな問題ではない。

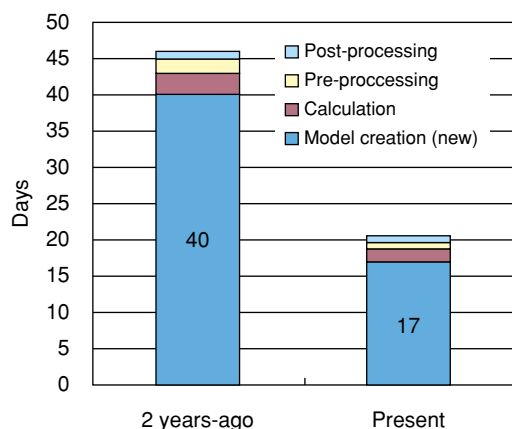


Fig. 18 Days required for an aero-dynamic simulation of a motorcycle and its transition in this 2years

7. まとめ

空間占有率をベースにした空力シミュレーションのシステムを構築し、これを開発機種に適用して以下のことが得られた。

- (1) 本手法により、二輪車の完成車体のような複雑な形状であっても、実用的なモデリング工数で空力シミュレーションが可能であることが確認できた。
- (2) 計算精度は完成車全体の空気抵抗値や流れのパターンを確認する上では実用性のあることが判った。
さらに以下に示す課題への取り組みが必要である。
- (1) 形状表現に空間占有率を使っているため、壁面近傍の流れの精度が十分でない。
- (2) 局所的な形状を正確に表現する必要がある場合、例えば小さな穴の効果を確かめたい場合、現在の手法では必要なメッシュ数が膨大に増え、実用的なメッシュ数では精度よく計算することが困難となる。

参考文献

- (1) 福島達也, 宮島保, 高村明男: 計算機を用いた空力解析システムの開発, HONDA R&D Technical Review Vol.3, p.182-192 (1991)
- (2) Carlo Fabio: Numerical Investigation on the Fender of a Motorcycle, SAE 970412
- (3) 姫野龍太郎, 藤谷克郎, 田中久: 差分法を用いた流れ解析による実車空力特性の解析, 自動車技術会 前刷集 901 (1990)
- (4) 竹内俊雄, 郡逸平: CFDを用いたトラック・バスの開発, 自動車技術会 前刷集 964 (1996)

■ 著 者 ■



渡部 尚



大久保武文



岩朝睦美



青木浩之