

# タイヤ／路面転がり抵抗の小さな低燃費アスファルト舗装技術の開発

株式会社 NIPPO 研究開発本部 技術研究所 研究第一グループ	石垣 勉
独立行政法人 土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム	川上 篤史
株式会社 NIPPO 研究開発本部 技術研究所 研究第三グループ	白井 悠
株式会社 NIPPO 研究開発本部 技術研究所 研究第一グループ	尾本 志展
独立行政法人 土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム	寺田 剛
独立行政法人 土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム	久保 和幸

## 1 はじめに

舗装の技術的対応として、低炭素化の更なる推進が求められている。世界のエネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量は、303 億トン（2010 年）<sup>1)</sup> であり、今後の排出量予測は増加する見通しとなっている。我が国のエネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量は、13 億 700 万トン（2011 年）であり、世界の排出量に占める割合は、約 4% である。道路に関連する運輸部門単体では、我が国全体の 19.6% を占めている<sup>2)</sup>。温室効果ガス削減を達成するために必要な措置を定めた京都議定書目標達成計画に基づく対策として、運輸部門では、自動車・道路交通対策や、環境負荷の小さい交通体系の構築などの施策が推進されている<sup>3)</sup>。

EAPA（欧州舗装技術協会）と eurobitume（欧州アスファルト協会）は、道路における温室効果ガス排出量に関するライフサイクルアセスメント試算結果を示している<sup>4)</sup>。これによれば、4 車線道路（大型車交通量 2,500 万台／30 年、乗用車交通量 1 億台／30 年）の場合、30 年間のライフサイクルにおける CO<sub>2</sub> 排出量の割合は、大型車の燃料消費によるものが 68%、乗用車の燃料消費によるものが 30%、道路建設・維持／修繕・更新によるものが 2% となることを示している。このことは、運輸部門における CO<sub>2</sub> 排出量削減において、自動車の燃料消費量を低減させる対策が効果的であることを裏付けている。

自動車の燃費消費量を変動させる主要因は、走行抵抗であると考えられている。走行抵抗とは、自動車の進行方向と反対向きに作用する力であり、転がり抵抗、空気

抵抗、勾配抵抗、および加速抵抗により構成される。これらのうち、転がり抵抗は、タイヤが路面を転がる時に、路面から進行方向と反対向きに受ける力であり、舗装路面と直接関連する抵抗といえる。

舗装の新たな技術的アプローチとして、タイヤと路面間に作用する転がり抵抗（以下、タイヤ／路面転がり抵抗）を低減する舗装材料及び路面構築方法を開発することで、走行抵抗の低減を図り、自動車の燃料消費量を低減することが期待できる。

そこで、筆者らは、タイヤ／路面転がり抵抗に着目したアスファルト舗装の低炭素化技術の確立を目的に、平成 22 年度から共同研究「低炭素舗装技術の高度化に関する研究」を実施してきている。

本論文は、本共同研究で開発した「タイヤ／路面転がり抵抗の小さな低燃費アスファルト舗装技術」に関して述べるものである。

## 2 タイヤ／路面転がり抵抗

### 2-1 タイヤ／路面転がり抵抗の測定方法

タイヤ／路面転がり抵抗とは、タイヤが路面を転がる時に、路面から進行方向と反対向きにタイヤが受ける力である。このタイヤ／路面転がり抵抗を測定するために、本研究ではすべり抵抗測定車を用いたタイヤ／路面転がり抵抗の測定方法を検討した。図-1 にすべり抵抗測定車の概要を示す。測定装置は、測定車の本体とは異なる測定輪（第 5 輪）に設置されている。載荷重用エア



図-1 すべり抵抗測定車の概要

シリンダーにより、所定の鉛直荷重を試験輪に載荷する。タイヤ/路面転がり抵抗は、測定輪を支える鉛直方向の軸に設置されるけん引力検出器により、車両進行方向の転動中のタイヤと路面の接地面に働く転がり抵抗 (F) を測定する。タイヤに作用する鉛直荷重 (W) の変動は、タイヤ/路面転がり抵抗に影響を及ぼすことから、鉛直方向に設置された載荷重検出器により測定する。タイヤ温度は、接触式温度計を用いて測定するものとした。

## 2-2 タイヤ/路面転がり抵抗の測定

### (1) 測定概要

舗装路面とタイヤ/路面転がり抵抗の関係を把握することを目的に、国土技術政策総合研究所試験走路(以下、国総研試験走路)の各種既設舗装のタイヤ/路面転がり抵抗を測定した。測定概要を表-1に示す。

表-1 測定概要

項目	内容
測定装置	すべり抵抗測定車
測定項目	タイヤ/路面転がり抵抗、鉛直荷重 (サンプリング間隔0.01秒)
測定タイヤ	すべり抵抗測定用標準タイヤ(リブタイヤ) タイヤ寸法: 165-SR13、タイヤ内圧 176.5kPa
載荷重	4000N±150N
試験速度	20,40,60,80,100 (km/h) 定常走行条件
測定路面 (全5路面)	国総研試験走路 西直線部 (既設) ①排水性舗装(5)、②排水性舗装(13) ③密粒度アスファルト舗装(13) 国総研試験走路 東直線部 (既設) ④密粒度アスファルト舗装(13)
測定延長	各 L=80m
路面状態	乾燥路面

### (2) 測定データの整理方法

タイヤ/路面転がり抵抗は、タイヤに作用する鉛直荷重に対して、ほぼ比例して増加する性質がある。測定したタイヤ/路面転がり抵抗 (F) と鉛直荷重 (W) より、タイヤ/路面転がり抵抗係数 ( $\mu_r = F/W$ ) を算出することができる。本研究では、0.01秒のサンプリング間隔で収集した F と W より、0.01秒毎の  $\mu_r$  を算出し、測定区間の  $\mu_r$  の全データの二乗平均平方根(RMS)を、測定区

間のタイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  と定義した。

図-2に、タイヤ/路面転がり抵抗係数とタイヤ温度の関係の一例を示す。図-2は、排水性舗装(13)の測定結果をとりまとめたものである。縦軸はタイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$ 、横軸はタイヤ温度である。

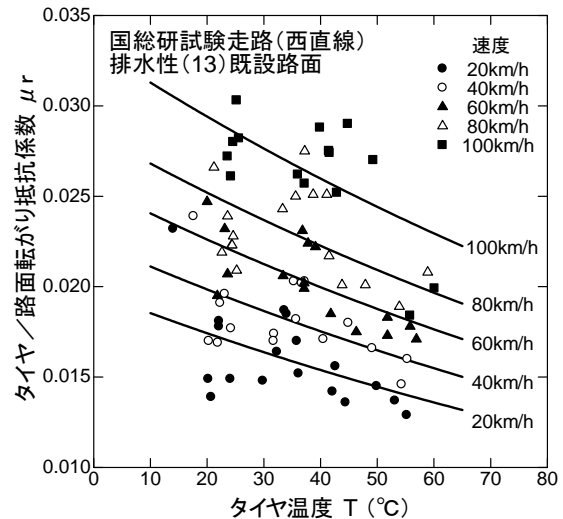


図-2 タイヤ/路面転がり抵抗係数とタイヤ温度の関係

図-2より、タイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  は、データにばらつきが見られるものの、タイヤ温度と速度の双方に強い依存性があることがわかる。

タイヤ温度が高いほど、タイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  が小さくなっている。このことは、タイヤ試験方法の一つである動的タイヤ試験で得られた転がり抵抗に関する知見<sup>5)</sup>と一致している。タイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  とタイヤ温度の関係は、指数関数であらわせるとする Janssen & Hall<sup>6)</sup>の知見に基づいて、速度毎に指数関数により回帰分析した結果を、図-2中の実線で示す。ここで、指数関数に傾きを与えるパラメータは、路面種別や速度に依存しないタイヤ固有の係数と仮定して、本研究で得られた全データの回帰分析により得られた値のパラメータの平均値を用いた。

速度が速いほど、タイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  が大きくなっている。このことは、動的タイヤ試験で得られたタイヤ転がり抵抗に関する知見<sup>5)</sup>と異なっている。動的タイヤ試験で得られたタイヤ転がり抵抗は、ほぼ同一とみなせるとしている。この理由として、動的タイヤ試験で得られたタイヤ転がり抵抗は、平滑なドラム面上の走行により得られる値に対して、タイヤ/路面転がり抵抗は、舗装の路面テクスチャやラフネスの影響を強く受けるためと推察される。

表-2 各種路面のタイヤ/路面転がり抵抗係数 測定結果 (国総研試験走路)

試験路面 種別	測定箇所	タイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ (タイヤ温度: 30°C補正)				
		20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h
排水性舗装(5)	西直線部	0.0156 (-6.6%)	0.0182 (-2.7%)	0.0210 (-0.9%)	0.0242 (+2.1%)	0.0283 (+1.1%)
排水性舗装(13)	西直線部	0.0167	0.0187	0.0212	0.0237	0.0280
密粒度アスファルト舗装(13)	西直線部	0.0165 (-1.2%)	0.0191 (+2.1%)	0.0215 (+1.4%)	0.0245 (+3.4%)	0.0268 (-4.3%)
密粒度アスファルト舗装(13)	東直線部	0.0157 (-6.0%)	0.0182 (-2.7%)	0.0200 (-5.7%)	0.0218 (-8.0%)	0.0253 (-9.6%)

\*表中の括弧内は、排水性舗装(13)を基準とした場合のタイヤ/路面転がり抵抗係数の増減率を示す。

表-3 各種路面の路面性状 測定結果 (国総研試験走路)

試験路面 種別	測定箇所	DFT			BPN	平たん性 $\sigma$	MPD (mm)
		20km/h	40km/h	60km/h			
排水性舗装(5)	西直線部	0.56	0.54	0.53	64	1.61	0.85
排水性舗装(13)	西直線部	0.45	0.44	0.44	59	0.92	1.66
密粒度アスファルト舗装(13)	西直線部	0.66	0.63	0.61	70	0.76	0.45
密粒度アスファルト舗装(13)	東直線部	0.75	0.72	0.68	79	0.75	0.29

本研究では、データの整理方法として、タイヤ/路面転がり抵抗  $\mu_r$  を、図-2中に示した指数関数モデルを用いて、タイヤ温度が 30°Cにおける  $\mu_r$  に温度補正した値を、速度毎に示すことにした。

### (3) 測定結果

表-2に、各種路面のタイヤ/路面転がり係数の測定結果、表-3に、路面性状測定結果を示す。

表-2より、タイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  は、路面の種別によって異なることがわかる。

最大粒径の異なる排水性舗装(5)と排水性舗装(13)を比較すると、排水性舗装(5)のタイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  は、低速度域から中速度域において、排水性舗装(13)よりも小さいが、高速度域においては大きくなっている。このことは、排水性舗装(5)の平たん性  $\sigma$  が 1.66 に対して、排水性舗装(13)が 0.94 と平坦性の良好な路面であることに起因していると推察される。

東直線部の密粒度アスファルト舗装(13)は、全速度域において、排水性舗装(13)よりもタイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  は小さい。低速度域では排水性舗装(5)と同等である。高速度域では、排水性舗装(13)よりも 8~10% 低い値となっている。しかしながら、西直線部の密粒度アスファルト舗装は、東直線部の密粒度アスファルト舗装と平坦性  $\sigma$  がほぼ同等であるのに関わらず、排水性舗装(13)よりもタイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  が大きい結果となっている。

### (4) 測定結果の分析

舗装の路面テクスチャやラフネスが、タイヤ/路面転

がり抵抗に及ぼす影響を検討した。

写真-1に、西直線部と東直線部の密粒度アスファルト舗装(13)の路面テクスチャを比較した結果を示す。



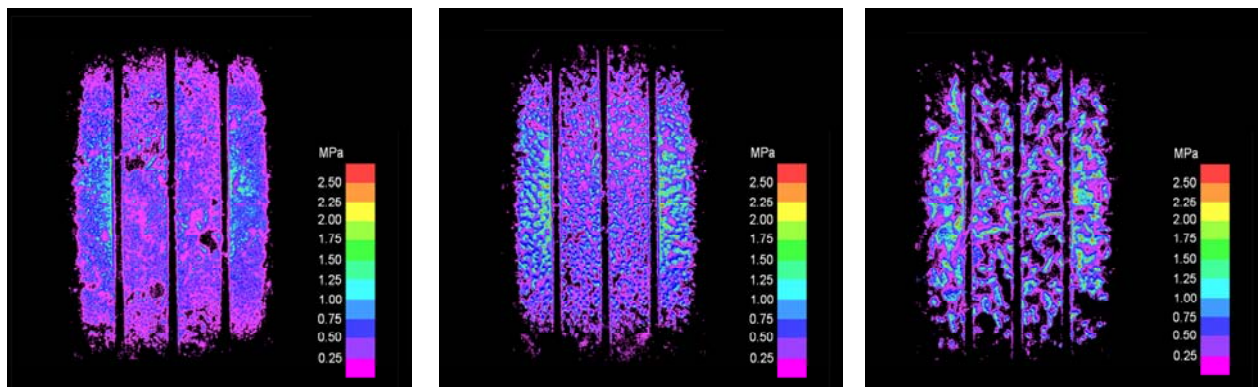
(1) 西直線部

(2) 東直線部

写真-1 密粒度アスファルト舗装の路面状態の比較

写真-1より、西直線部の密粒度アスファルト舗装(13)の路面状態は、表面のアスファルトモルタルがなくなることで、骨材が表面に露出し、路面に凹凸が発生した状態(ポジティブテクスチャ)となっている。東直線部の路面状態は、平滑な路面状態を呈している。西直線部の密粒度アスファルト舗装(13)のMPDは0.45mmに対して、東直線部は0.29mmであり、路面のきめ深さは西直線部の方が大きい。アスファルト舗装のMPDとタイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  の相関は、正の相関があり、MPDが大きくなるほど、タイヤ/路面転がり抵抗係数  $\mu_r$  は大きくなる。

密粒度アスファルト舗装のような、表面にアスファルトモルタルが多く露出する舗装は、供用初期は路面テクスチャが平滑であることから、タイヤ/路面転がり抵抗が小さい。しかし供用に伴いアスファルトモルタルが



(1) 東直線部 密粒度アスファルト舗装(13) (2) 排水性舗装(5) (3) 排水性舗装(13)

図-3 舗装路面のタイヤ接地圧分布

なくなることで、ポジティブテクスチャとなり、タイヤ/路面転がり抵抗が大きくなるものと考えられる。

図-3に、測定路面のタイヤ接地圧分布を示す。タイヤ接地圧の測定には、圧力測定範囲の異なる4種類の感圧フィルムを用いた。感圧フィルムを、すべり抵抗測定車の試験輪と路面間に敷設し、鉛直荷重(4000N)を試験輪に静的に载荷した。図-3は、感圧後のフィルムを圧力画像解析装置で読み込み、4種類の感圧フィルムの圧力画像を、コンピュータ上で合成することで作成した。

図-3より、タイヤの接地特性は、舗装路面の種別により大きく異なることがわかる。タイヤの接地面積は、東直線部の密粒度アスファルト舗装(13)が最も大きく、以下、排水性舗装(5)、排水性舗装(13)の順となっている。

接地圧分布に着目すると、排水性舗装(13)は、個々の骨材上に、局所的に大きな接地圧が発生していることがわかる。排水性舗装(5)は、排水性舗装(13)と同様に骨材上に局所的に大きな接地圧が発生しているが、接地面積が大きいことから、その局所的な接地圧のレベルは、排水性舗装(13)よりも小さい値となっている。東直線部の密粒度アスファルト舗装(13)は、平滑な路面であることから、局所的な接地圧の発生はみられず、その接地圧のレベルは小さい。路面テクスチャがタイヤ/路面転がり抵抗に及ぼす影響として、タイヤと路面の接地面において、路面テクスチャに起因する局所的に大きな接地圧力の発生により、タイヤのトレッド面を局所的に変形させる。このことが、タイヤ/路面転がり抵抗を増加させるものと考えられる。

平坦性 $\sigma$ とタイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ は、正の相関があり、平坦性 $\sigma$ が大きくなるほど、タイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ は大きくなる。特に高速度域におい

て、平坦性 $\sigma$ と強い正の相関がある。

これらのことは、タイヤ/路面転がり抵抗が、舗装の路面テクスチャやラフネスの影響を強く受けるとする既往の知見(例えば、Descornet<sup>7)</sup>)を裏付ける結果といえる。なお、すべり抵抗とタイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ は相関が得られなかった。

### 3 タイヤ/路面転がり抵抗の小さな低燃費アスファルト舗装技術の開発

#### 3-1 アスファルト混合物

タイヤ/路面転がり抵抗の小さな低燃費アスファルト舗装技術の開発を目的に、アスファルト混合物の配合を検討した。前述のタイヤ/路面転がり抵抗の測定結果の分析より、筆者らは、図-4に示すようなネガティブテクスチャ(適度なきめ深さを確保しつつ、骨材を表面に緻密かつ平滑に並べた路面テクスチャ)を有するアスファルト混合物(以下、小粒径薄層舗装用アスファルト混合物)を開発コンセプトにした。

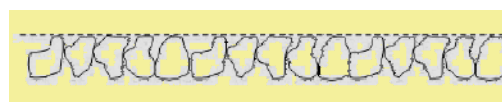


図-4 小粒径薄層舗装用アスファルト混合物の開発コンセプト

写真-2に、試作した小粒径薄層舗装用アスファルト混合物のホイールトラッキング供試体で得られた路面テクスチャの比較結果を示す。試作した小粒径薄層舗装用アスファルト混合物は、骨材最大粒径が5mmの小粒径であり、骨材粒度の2.36mmパスの割合を20%、30%、40%と変化させたものである。



(1) 2.36mm-20% (2) 2.36mm-30% (3) 2.36mm-40%

写真-2 試作した小粒径薄層舗装用アスファルト混合物による路面テクスチャの比較 (最大粒径 5mm)

写真-2より、20%の場合、骨材間に大きな開きが見られ、テクスチャは緻密ではなく、きめ深さも大きい。40%の場合は、アスファルトモルタル分が表面に浮き出ており供用後の飛散が懸念される。30%の場合は、緻密かつ表面の平滑性は高いといえる。そこで、本研究では骨材粒度の 2.36mm パスの割合を 30%程度とした粒度を中央粒度とする骨材粒度を選定することにした。これは、排水性(5)と SMA(5)の中間的な粒度に概ね相当するものである。表-4に小粒径薄層舗装用アスファルト混合物(5)の粒度とマーシャル特性を示す。

表-4 小粒径薄層舗装用アスファルト混合物(5)の粒度とマーシャル特性

混合物種類	小粒径薄層舗装用 As 混合物(5)	粒度範囲
通過百分率	13.2mm	100
	4.75mm	93.4
	2.36mm	30.2
	0.075mm	5.5
バインダー種別	ポリマー改質 H 型	
アスファルト量(%)	4.8	
空隙率(%)	15.0	
飽和度(%)	39.2	
安定度(kN)	10.8	

### 3-2 試験施工

小粒径薄層舗装用アスファルト混合物(5)のタイヤ/路面転がり抵抗低減性能の確認を目的に、国総研試験走路の西直線部において、試験施工を実施した。表-5に試験施工の概要を、写真-3に試験施工の状況を示す。施工では、良好な路面テクスチャと平坦性を得ることを目的に、表-5に示す施工機械を用いた。

写真-4に、試験施工で得られた小粒径薄層舗装(5)の路面テクスチャを示す。小粒径薄層舗装(5)のMPDは0.57mmであり、排水性舗装(5)の0.85と比較して小さい。試験施工で得られた路面テクスチャが、適度なきめ深さと、骨材が表面に緻密かつ平滑に並べられたネガティブテクスチャであることを確認した。

表-5 試験施工の概要

項目	内容
施工箇所	国総研試験走路 西直線部
実施時期	平成 24 年 3 月、平成 24 年 5 月
施工内容	①小粒径薄層舗装(5) 表層：小粒径薄層舗装(5)(t=2cm)：改質 H 型 レベリング層：密粒(13)(t=3cm)：改質 II 型 施工機械：乳剤散布式 AF+タンデム+タンデム
	②2層同時舗設式小粒径薄層舗装(5)(t=2cm) 上層：小粒径薄層舗装(5)(t=2cm)：改質 H 型 下層：密粒(13)(t=3cm)：改質 II 型 施工機械：2層同時舗設式 AF+タンデム+タンデム
	③密粒(20) <比較工区> 表層：密粒(20)(t=5cm)：改質 II 型 施工機械：一般 AF+マカダム+タイヤ+タンデム
	④排水性(13) <比較工区> 表層：排水性(13)(t=5cm)：改質 H 型 施工機械：一般 AF+マカダム+タイヤ+タンデム
施工延長	各 L=60m



写真-3 試験施工の状況 (2層同時舗設式小粒径薄層舗装)



写真-4 小粒径薄層舗装(5)の路面テクスチャ

### 3-3 タイヤ/路面転がり抵抗低減性能の検証

表-6に試験施工路面のタイヤ/路面転がり抵抗係数の測定結果を、表-7に路面性状測定結果を示す。

表-6より、小粒径薄層舗装(5)と2層同時舗設式小粒径薄層舗装(5)のタイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ は、我が国の道路舗装で一般的に用いられている排水性舗装(13)や密粒度アスファルト舗装(20)よりも十分に小さいことがわかる。排水性舗装(13)と比較すると、タイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ の低減率は、速度 20km/h において約 10%、速度 40~60km/h において約 12~14%、速度 80~100km/h において約 6~9%であった。

### 3-4 自動車走行燃費向上率の試算

タイヤ/路面転がり抵抗の小さな低燃費アスファルト

表-6 試験施工路面のタイヤ/路面転がり抵抗係数 測定結果 (国総研試験走路)

試験路面 種別	測定箇所	タイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ (タイヤ温度:30°C補正)				
		20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h
小粒径薄層舗装(5)	西直線部	0.0150 (-9.6%)	0.0170 (-14.1%)	0.0191 (-14.0%)	0.0240 (-7.7%)	0.0271 (-5.6%)
2層同時舗設式小粒径薄層舗装(5)	西直線部	0.0148 (-10.9%)	0.0174 (-12.1%)	0.0196 (-11.8%)	0.0245 (-5.8%)	0.0260 (-9.4%)
密粒度アスファルト舗装(20)	西直線部	0.0163 (-1.8%)	0.0191 (-3.5%)	0.0226 (+1.8%)	0.0269 (+3.5%)	0.0289 (+0.1%)
排水性舗装(13)	西直線部	0.0166	0.0198	0.0222	0.0260	0.0287

\*表中の括弧内は、排水性舗装(13)を基準とした場合のタイヤ/路面転がり抵抗係数の増減率を示す。

表-7 試験施工路面の路面性状測定結果 (国総研試験走路)

試験路面 種別	測定箇所	DFT			BPN	平たん性 $\sigma$	MPD (mm)
		20km/h	40km/h	60km/h			
小粒径薄層舗装(5)	西直線部	0.42	0.35	0.35	71	0.60	0.57
2層同時舗設式小粒径薄層舗装(5)	西直線部	0.52	0.50	0.49	79	0.87	0.56
密粒度アスファルト舗装(20)	西直線部	0.62	0.54	0.51	73	1.11	0.36
排水性舗装(13)	西直線部	0.47	0.43	0.41	66	0.75	1.47

表-8 低燃費アスファルト舗装による自動車走行燃費向上率の試算 (排水性舗装(13)比)

走行条件	転がり抵抗の燃費 寄与率 <sup>8)</sup> (%) : A	タイヤ/路面転がり 抵抗の低減率(%) : B		自動車燃費向上率(%) : A×B	
		ケース1	ケース2	ケース1	ケース2
		一定速度走行	20~25	14.0	10.0
モータ燃費試験走行	10~20	14.0	10.0	1.4~2.8	1.0~2.0
一般市街地走行	7~10	14.0	10.0	1.0~1.4	0.7~1.0

舗装技術の適用による自動車走行燃費向上率の試算結果を表-8に示す。試算結果は、排水性舗装(13)を基準とした場合の小粒径薄層舗装(5)における燃費向上率を示した。表-8中の転がり抵抗の自動車走行燃費への寄与率は、文献<sup>8)</sup>に示された値を用いた。ここで、一般市街地走行の条件に着目すると、タイヤ/路面転がり抵抗の低減率が14%のケース1では、自動車走行燃費向上率は1.0~1.4%である。また、低減率が10%のケース2では、その向上率は0.7~1.0%である。このことは、既往の試算結果<sup>9)</sup>が示すように、低燃費アスファルト舗装技術を交通量の多い路線に適用することで、舗装のライフサイクルCO<sub>2</sub>削減や、運輸部門におけるCO<sub>2</sub>排出量削減に寄与することが期待できるといえる。

#### 4 おわりに

アスファルト舗装の低炭素化技術の高度化を目的に、タイヤ/路面転がり抵抗の小さな低燃費アスファルト舗装技術を開発した。本論文で得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- (1) タイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ は、すべり測定車により測定でき、その値はタイヤ温度および速度の双方に強い依存性があることがわかった。

- (2) タイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_r$ は、舗装の路面テクスチャとラフネスの影響を強く受ける。
- (3) タイヤ/路面転がり抵抗の低減を図ることができ、小粒径薄層舗装用アスファルト混合物と施工技术を開発した。
- (4) 本技術を適用することで、自動車走行燃費を低減し、舗装のライフサイクルCO<sub>2</sub>削減や、運輸部門におけるCO<sub>2</sub>排出量削減が期待できる。
- (5) 今後の課題として、本技術の実路への適用を図り、効果の検証を更に進めていきたい。

#### (参考文献)

- 1) 環境省：世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量、環境省HP <http://www.env.go.jp>
- 2) 環境省：2011年度温室効果ガス排出量(速報値)、環境省HP <http://www.env.go.jp>
- 3) 国土交通省：国土交通省における地球温暖化対策について、国土交通省HP <http://www.mlit.go.jp>
- 4) EAPA/ eurobitume : Environmental Impacts and Fuel Efficiency of Road pavements, Industry Report (2004.3)
- 5) 酒井秀男：改訂版タイヤ工学、グランプリ出版(2002)
- 6) Janssen,M.L. & Hall,G.L. : Effect of Ambient Temperature on Radial Tire Rolling Resistance, SAE No. 800090, SAE, (1980)
- 7) Descornet, G. : Road-Surface Influence on Tire Rolling Resistance, ASTM STP 1031, pp.410-415,ASTM,(1990)
- 8) 低燃費タイヤ普及促進協議会：低燃費タイヤ等に関する普及のあり方について(2009.7)
- 9) 川上篤史、新田弘之、寺田剛、久保和幸：低炭素社会に貢献する舗装技術—低燃費舗装のCO<sub>2</sub>排出量削減効果の試算等—, 土木技術資料55-1, (2013)