

特集：持続可能な社会の実現に向けた土木技術

低炭素社会に貢献する舗装技術 — 低燃費舗装のCO₂排出量削減効果の試算等 —

川上篤史* 新田弘之** 寺田 剛*** 久保和幸****

1. はじめに

近年、地球温暖化対策や省エネルギー対策へのニーズの高まりを背景として、低炭素社会に貢献する舗装技術（以下、低炭素舗装技術）が注目されている。日本道路協会「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック¹⁾（以下、環境舗装ガイド）」では、低炭素舗装技術として加熱アスファルト混合物の製造温度低下技術（中温化技術など）、リサイクル技術、長寿命化技術等が挙げられている。中でも、中温化技術は平成22年に「国等による環境物品等の調達に関する法律」（グリーン購入法）の公共工事における特定調達品目として指定され、より積極的な取り組みが行われている。

一方、環境ガイドに挙げられていない新たな低炭素舗装技術として、自動車のタイヤの転がり抵抗を低くすることによって、燃費を向上させ自動車からのCO₂排出量を低減する舗装技術（以下、低燃費舗装）の研究^{2),3)}が行われている。低燃費舗装のメカニズムは、舗装構造の剛性、平坦性、路面テクスチャなど考えられるが、まだ影響要因が明らかになっていないとともに、道路から排出されるCO₂に対する影響の程度等、まだ検討事例も少ないのが現状である。

本稿では、以下の2点について検討した結果について報告する。

- (1)低炭素舗装技術の体系的整理および中温化技術の国内外における普及・開発状況の整理
- (2)低燃費舗装の効果の把握のための自動車等から排出されるCO₂を考慮に入れたライフサイクルCO₂評価

2. 低炭素舗装技術の現状

2.1 低炭素舗装技術の整理

低炭素舗装技術の整理にあたっては、環境舗装

ガイドに記載されている技術に加え、既存文献によりCO₂排出量削減に資する舗装技術を幅広く抽出し整理した。既存文献は、過去3年程度の日本道路会議論文集や土木学会舗装工学論文集、土木学会年次講演会講演集、舗装誌、道路建設誌、あすふあるとにゆうざい誌等を参照した。

既存文献等により、可能性のある低炭素舗装技術を抽出した結果を表-1に示す。低燃費舗装技術やバイオ技術等、新たに追加した技術を※印で示している。

表-1 低炭素舗装技術の整理

技術の種類		具体の技術
舗装技術	加熱アスファルト混合物の製造温度低下技術	中温化技術
		弱加熱技術
	常温製造技術	チップシール
		マイクロサーフェシング
	リサイクル技術	プラント再生舗装工法
		路上表層再生工法
路上路盤再生工法		
長寿命化技術	コンポジット舗装	
	改質アスファルトの適用	
	フルデプス舗装(※)	
低燃費舗装技術(※)	コンクリート舗装(※)	
材料技術	バイオ技術(※)	バイオバインダ(※)
製造設備技術	アスファルト混合物の製造効率の向上技術	バーナの燃費向上
		ドライヤ内の羽根の改良等
施工機械技術	エンジン回転数制御技術	低燃費型建設機械
	電力駆動技術	ハイブリッド建設機械(※)
		バッテリー式建設機械
	施工の効率化技術	3Dマシンコントロール

※:環境ガイドブックから新たに追加した技術

低燃費舗装は、舗装の転がり抵抗を改善することによって自動車由来の排出ガス低減に寄与する舗装技術である。カナダおよび日本で舗装の種類を変えて走行実験を行い、コンクリート舗装は剛性が高いことから、転がり抵抗が低いと報告されている^{2),3)}。

バイオ技術は、植物由来の原料で製造されたバイオバインダ^{4),5)}やバイオマス燃料⁶⁾を用いるものである。カーボンニュートラルにより素材の製造に係るCO₂排出量は積算しない。ただし、製造・輸送の過程で燃料を使えばその排出量を考慮する必要がある。アスファルト混合物の製造時にバイオ燃料をカロリー比で90%使用した場合、通常

Pavement technologies for low carbon society, -Result of reducing CO₂ emission by pavement technology for Low Vehicle Fuel Consumption-

の燃料である A 重油を用いた場合と比較して CO₂を約 80%削減すると報告⁶⁾されている。

2.2 国内外における中温化技術の現状

中温化技術は、1995年頃に日本及び欧州で研究開発が始まり、近年は米国などでも行われるようになり、様々な技術が開発されている。そこで、現在の海外における中温化技術の種類(分類)や実績等を調査した。参照した海外文献は、全米アスファルト協会の技術図書⁷⁾や中温化技術に関する国際会論文集⁸⁾、インターネットWEB (asphaltpavement.org、warmmixasphalt.com、eapa.org、trb.org、gisbau.de等)である。

海外における中温化技術(弱加熱技術も含む)の整理結果を表-2に示す。

表-2 海外の中温化技術の開発状況

技術分類	技術名	概要	出荷量(万トン)	実績(国)
a. Chemical Processes	Evotherm™ (ET,DAT,3G)	エマルジョンで加熱骨材を被膜	750	フランス、カナダ、南アフリカ、アメリカ等
	Cecabase RT	水を使用しない中温化添加剤	200	アメリカ(NCHRP Project)
	HyperTherm/QualiTherm	水を使用しない飽和脂肪酸ベースの化学系添加剤	2.8	カナダ
	Rediset WMX, Rediset LQ(Liquid)	当初固形(WMX)が開発され、2011年に液体のRediset(LQ)が開発	-	アメリカ(NCHRP Project)
b. Foaming Processes	Aspha-min	ゼオライト	30	フランス、ドイツ、アメリカ
	LEA, also EBE and EBT	一部の骨材による発泡	10	フランス、スペイン、イタリア、アメリカ
	WAM-Foam	軟らかいアスファルトで被膜した後に発泡した硬いアスファルトを添加	6	フランス、ノルウェー、カナダ、イタリア等
	この他、Advera, Duble-Barrel Green, Accu-Shear Dual Warm Mix Additive System, AQUABLACK, AquaFoam, ECOMAC, LEAB, LT Asphalt, Terex Warm Mix Asphalt, Ultrafoam GXなどがある			
c. Organic (wax) Additives - added to binder or mix	Sasobit	Fischer-Tropsch ワックス	1000	ドイツおよび世界20か国
	Thiopave	SEAM(Sulfur Extended Asphalt Modifier)として知られる硫黄のアスファルト改質剤	45	アメリカ(NCHRP Project)
	Licomont BS 100 (additive) or Söbit (binder)	添加物またはバインダー(脂肪酸アミド)	3.8	ドイツ
	この他、Asphaltan-B, 3E LT or Ecoflex, LEADCAPなどがある			

様々な技術・添加剤が開発・実用化されているが、欧米では中温化技術を以下に分類している。

a. Chemical Processes (化学系添加剤)

b. Forming Processes (発泡技術)

c. Organic Additives (有機系添加物)

一方、わが国の中温化技術の分類は、環境舗装ガイドでは以下のとおりとしている。

A1. 発泡剤(添加剤)を利用するもの

B1. フォームド技術(機械)を利用するもの

C1. アスファルト被膜の粘度を調整するもの

また、道路建設業協会資料⁹⁾では以下としている。環境舗装ガイドが平成21年に発刊されたのに対して、道路建設業協会資料は平成22年に発

刊されていることから、現在はこの分類が日本で一般的に用いられている。

A2. 発泡系

B2. 粘弾性調整系

C2. 滑剤系

A1 および B1 が A2 に統合され、C2 が新たに分類された。欧米では主に材料で分類しているのに対し、日本は機能・作用で分類している。

次に、表-2に示す技術の出荷量として、a.化学系添加剤は多いもので750万トン、c.有機系添加物では1,000万トンの実績がある。日本では、各技術の出荷量は公表されていないが実績を合計すると450件300万m²程度⁹⁾であり、舗装厚を5cmと仮定すれば約35万トンと推定される。国内の加熱アスファルト混合物の出荷量は年間約5千万トンであることから中温化技術はまだ使用量は少ない。中温化技術はグリーン購入法の調達品目に指定されたことから、今後、広く普及する可能性がある。

一方、表-2に示す技術の名称数ではb.発泡技術が非常に多くなっている。これは主に米国において、ランニングコストのかかるa, cの技術よりも、主に設備投資だけで済むbの技術が好まれた結果と考えられる。このため、米国では中温化混合物の価格は通常の加熱アスファルト混合物と同等に抑えられており、注目すべき点である。

3. 低燃費舗装の効果

自動車から排出されるCO₂について道路種別の傾向を把握し、低燃費舗装の適用可能性を検討した。また、低燃費舗装による自動車由来のCO₂排出量低減効果と、舗装の材料製造から輸送、施工、再生利用するまでのライフサイクルCO₂を定量比較し、低燃費舗装のCO₂削減効果を試算した。なお、低燃費舗装の効果には未確認の部分もあるため、文献等を参考に仮定値により試算した。

3.1 低燃費舗装のCO₂改善効果の試算

まず、道路種別による自動車からのCO₂排出量を算出した。自動車のCO₂排出量原単位は、表-3に示す2車種別のCO₂排出係数式¹⁰⁾を用いた。算出に用いた平均旅行速度、交通量、平均車線数は道路交通センサス¹¹⁾より茨城県を抽出し、道路種別として高規格幹線道路、一般国道、主要地方道、一般都道府県道に整理した(表-4)。自動車から

排出されるCO₂排出量は、この排出係数に交通量、距離を乗ずることによって算出することができる。また、平均車線数により、道路種別毎の1日・1車線あたりの自動車からのCO₂排出量を算出した。

表-3 自動車からのCO₂排出係数式¹⁰⁾

年度	車種区分	CO ₂ 排出係数式(単位:g-CO ₂ /km)
H22 (2010)	小型車類	$EF = 1427.33/v - 2.8375 \times v + 0.02360 \times v^2 + 191.762$
	大型車類	$EF = 50.2788/v - 27.312 \times v + 0.20876 \times v^2 + 1592.69$

ここに、EF:CO₂排出係数(g-CO₂/km・台)、v:平均走行速度(km/h)

表-4 道路種別の平均旅行速度、交通量(茨城県)

道路種別	昼間12時間 平均旅行速度 (km/h)	24時間平均交通量 (台/日)		平均車線数 (加重平均)
		小型車	大型車	
高規格幹線道路	81.3	21,985	8,359	4.63
一般国道	37.2	13,797	3,651	2.85
主要地方道	37.5	7,128	1,124	2.34
一般都道府県道	36.8	4,686	636	2.14

道路種別毎の自動車からのCO₂排出量を算出した結果を図-1に示す。高規格幹線道路および一般国道のCO₂排出量が多く、これは交通量(特に大型車)が多いことに起因している。よって、低燃費舗装は交通量が多い路線に適用することにより、効果が大きくなることが確認できる。

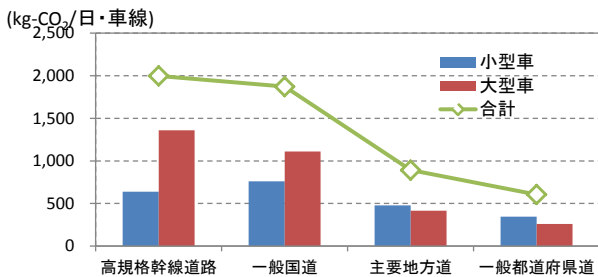


図-1 道路種別毎の自動車からのCO₂排出量

次に、低燃費舗装により自動車の燃費が改善した際のCO₂排出量を試算した。この排出係数に燃費改善率を乗ずることによって低燃費舗装のCO₂排出量を算出した。舗装による自動車の燃費改善率について、カナダにおいてコンクリート舗装(以下、Co舗装)はアスファルト舗装(以下、As舗装)に比べて、大型車で0.8~6.9%上回ると報告²⁾がある。日本においてもAs舗装はCo舗装に比べて大型車の転がり抵抗で10.7%、燃費で都市間モードに換算し2.5~2.6%劣る報告³⁾がある。As舗装については知見が少ないが、転がり抵抗の低いエコタイヤを装着した普通自動車においてAs舗装上を走行した結果、ノーマルタイヤに比べて平均6%のCO₂排出量が減少した報告¹²⁾がある。このことから、As舗装も転がり抵抗を低くする

ことによって低燃費舗装になる可能性もあると考えられる。これらを考慮し、低燃費舗装による燃費改善率を小型車、大型車共に1%、3%、6%と仮定した。

低燃費舗装により自動車の燃費が改善した場合のCO₂排出量の差を、燃費改善率毎に試算した結果を表-5に示す。これを舗装のライフサイクルCO₂排出量に反映することで、低燃費舗装の供用中の効果を定量的に把握することができる。

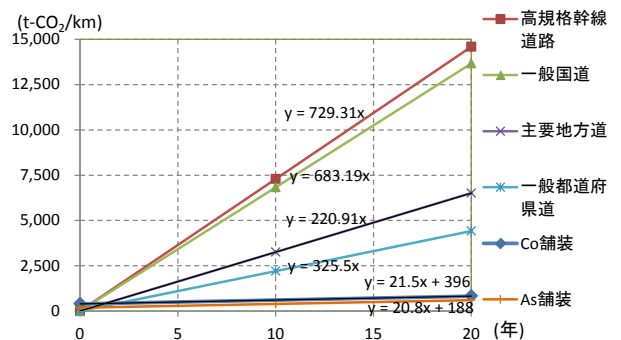
表-5 1日1車線ごとのCO₂削減量(茨城県)

燃費改善率	(kg-CO ₂ /日・車線)		
	1%	3%	6%
高規格幹線道路	-20	-60	-120
一般国道	-19	-56	-112
主要地方道	-9	-27	-54
一般都道府県道	-6	-18	-36

3.2 舗装のライフサイクルCO₂との比較

前項で求めた自動車由来のCO₂排出量と舗装の材料製造から輸送、施工、再生利用するまでのライフサイクルCO₂の定量比較を行った。比較対象とする舗装は、低燃費舗装として提案されているCo舗装、および平坦性等により燃費がよくなることを想定しAs舗装も対象とした。ライフサイクルCO₂の試算は、過去の試算結果¹³⁾を用い、Co舗装は20年、As舗装は10年で全層打換えを行う。舗装構成はN6構造とし、施工面積は1km、幅員は3.5mとして試算した。

道路種別毎の自動車からのCO₂排出量とAs舗装およびCo舗装のライフサイクルCO₂の試算結果を図-2に示す。As舗装およびCo舗装の回帰直線の傾きが約21に対して、道路種別毎の自動車由来のCO₂の傾きが221~730であることから自動車由来のCO₂排出量が舗装のライフサイクルCO₂と比較して非常に多いことが分かる。



※1: CO₂ 排出量は自動車や施工機械等の省エネルギー性能の向上により、将来的に減少傾向になるが目安として直線で示している。
 ※2: Co舗装およびAs舗装のライフサイクルCO₂は、舗装の新設、打換え毎に累積する。本図では累積するCO₂排出量を回帰直線で示している

図-2 自動車由来および舗装のCO₂排出量

次に、低燃費舗装の導入による自動車由来のCO₂排出量と舗装のライフサイクルCO₂への影響について試算した結果を図-3に示す。図中の破線が既設舗装として通常のAs舗装のライフサイクルCO₂である。0年の時に低燃費舗装（Co舗装およびAs舗装）を打ち換えることによって、打換え時はCO₂が増えることになる。その後、低燃費舗装の適用により、表-5で示したように自動車からのCO₂排出量の低減分が差し引かれるため、燃費低減率が1%の低燃費舗装（図中の低燃費Co舗装、低燃費As舗装）でも既設の舗装より、ライフサイクルCO₂排出量を低減させる可能性があることが分かった。

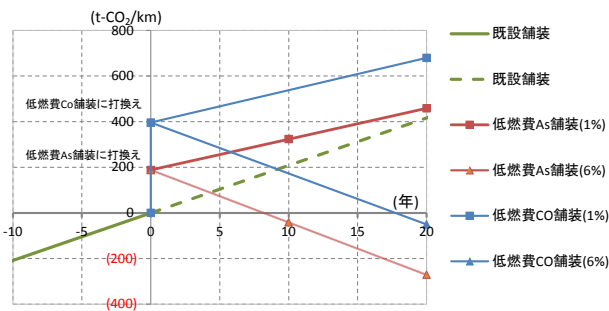


図-3 低燃費舗装に打換え後の LCCO₂

4. まとめ

主な結果を以下にまとめる。

- ・海外における中温化技術は2千万トン以上製造され、日本の施工実績に比べると非常に多く、今後日本の中温化技術も広く普及する可能性はある
- ・低燃費舗装は重交通路線に適用するとCO₂削減効果が高い
- ・自動車由来のCO₂排出量が多いことから、低燃費舗装の燃費低減率が1%でも舗装のライフサイクルCO₂は減る可能性がある

現在、土木研究所では低燃費舗装のメカニズム解明および技術開発に関する共同研究を実施しており、今後も低炭素社会に貢献する舗装技術の発展に寄与していきたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック、2009.6
- 2) G. W. Taylor, et al.: Effect of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption - Phase III, National Research Council Canada, Canada, 2006
- 3) 吉本徹、風戸崇之、熊田一彦、笠原篤：高速道路での重量車の転がり抵抗の測定と燃費に及ぼす影響に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第14巻、2009.12
- 4) Colas Switzerland: Promoting the Widespread Use of VALORCOL, Innovative Practices for Greener Roads, IRF, 2009.
- 5) D. Thierrt：道路産業におけるバイオバインダ剤の使用、あすふあるとにゆうざい、184号、pp.10~14、2011.8
- 6) 守安弘周、関口和也、宮崎慎也、傳田喜八郎：バイオマス燃料を活用したアスファルト混合物の製造、舗装45-11、pp.17~22、2010.11
- 7) NAPA: Warm-Mix Asphalt Best Practices 2nd Edition, 2011.2
- 8) NAPA: 2nd International Warm-Mix Asphalt Conference Proceedings, 2011.10
- 9) 日本道路建設業協会：環境保全を目指した中温化（低炭素）アスファルト舗装・中温化技術による加熱アスファルト混合物でのCO₂削減、2010.
- 10) 大城温、松下雅行、並河良治、大西博文：自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数、土木技術資料、第43巻、第11号、pp.50~55、2001
- 11) 国土交通省道路局：平成22年度 全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査集計表、2011.9
- 12) 土肥学、曾根真理：実路上における運転方法・乗車人数・電装品使用・整備状況の違いによる自動車CO₂排出量比較調査、第39回環境システム研究論文発表会講演集、2011.10
- 13) 川上篤史、新田弘之、久保和幸：舗装の長寿命化・延命化によるCO₂排出量の抑制効果について、土木学会舗装工学論文集、第15巻、2010.12

川上篤史*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員、博士(工学)
Dr. Atsushi KAWAKAMI

新田弘之**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料資源研究グループ新材料チーム 主任研究員、博士(工学)
Dr. Hiroyuki NITTA

寺田 剛***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員
Masaru TERADA

久保和幸****



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員、工修
Kazuyuki KUBO