

加熱アスファルト混合物製造に係る CO₂ 排出量とその影響要因について

川上篤史¹・新田弘之²・加納孝志³・久保和幸⁴

¹正会員 独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail : kawakami@pwri.go.jp

²正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

³正会員 工修 独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

⁴正会員 工修 独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

舗装補修工事において、材料製造、材料輸送、舗装工事、廃棄の各サイクルにおいて排出される CO₂ は、材料製造段階が全体の約 6 割を占めている。この材料製造のうち、さらに約 6 割は加熱アスファルト混合物の製造時に排出されており、これを減らすことが舗装工事全体の CO₂ 排出量削減に繋がると考えられる。

本研究では、加熱アスファルト混合物製造時の燃料消費量およびそれに影響を与える要因を明らかにするとともに、中温化技術の CO₂ 排出抑制効果を検証した。その結果、アスファルトプラントの燃料消費量は骨材温度、骨材含水比、混合物温度の組み合わせにより大きく変動すること、中温化技術は中温化剤の製造を考慮に入れても全体の CO₂ 排出量は削減されることが明らかになった。

Key Words : Environmental load, CO₂ emission, Hot Mix Asphalt, Warm Mix Asphalt, Fuel consumption

1. はじめに

平成 17 年に発効した京都議定書において、わが国は 2012 年までに温室効果ガスの排出量を 1990 年比で 6% 削減することとしている。さらに 2009 年 6 月 10 日、総理大臣より 2013 年以降の中期目標について、2005 年比で 15% 削減とすることが発表された¹⁾。

2000 年度のがわの温室効果ガス排出量は 1347.6 百万トン(CO₂換算)であり、運輸部門のうち自動車交通については約 17%、道路関連公共事業部門は 2.5% を占めている²⁾。よって、舗装工事においても低炭素社会に向けた取り組みがますます重要となってくると考えられる。

舗装工事における CO₂ 削減対策は、加熱アスファルト混合物(以下、HMA)の製造温度低下技術、常温製造技術、リサイクル技術、長寿命化技術等が上げられている³⁾。

筆者らのこれまでの試算³⁾によると、一般の舗装補修工事(切削オーバーレイ工事)では、図-1 に示すように材料製造、材料輸送、舗装工事、廃棄の各サイクルにおいて排出される CO₂ は、材料製造段階が全体の約 6 割を占めていた。その材料製造のうち、HMA の製造に係る CO₂ 排出量が最も多く材料製造の約 6 割であった。よって、この HMA 製造に係る CO₂ を削減することにより、工事全体の CO₂ 排出量削減に大きな効果があると考えられる。

HMA の製造に係る CO₂ は、アスファルトプラント(以下、プラント)における燃料等の消費量により算出され、

骨材を乾燥・加熱するための燃料が大きな割合を占めている³⁾。このため、近年ではプラントの燃料消費量の削減が可能な HMA の製造温度低下技術が、CO₂ 排出量削減方法として期待されている。

HMA の製造温度低下技術は、主に、中温化技術と弱加熱技術がある。中温化技術は、HMA 製造時に添加剤を入れることによって製造温度を低減することができ、燃料消費量を通常の HMA(160℃)に対して、30℃低減することにより 85.4%、50℃低減することによって 70.9% となると報告されている⁴⁾。しかし、中温化技術の CO₂ 削減量については、中温化剤そのものの製造に伴う CO₂ 排出量については明らかになっておらず、試算条件も限定的である。

また、プラントにおいて、骨材の乾燥・加熱に必要な燃料は、骨材の状態や気象条件等にも関係するが、これらについてはあまり検討されていないのが現状である。

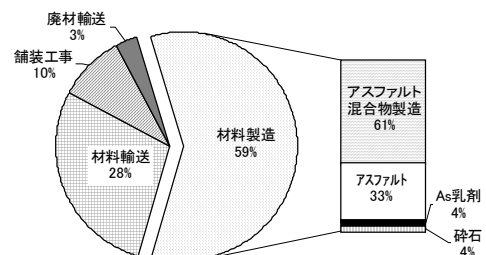


図-1 新規混合物による切削オーバーレイ工事における CO₂排出割合(文献³⁾を元に作成)

したがって、本稿では、HMA の製造に係る CO₂ 排出量の削減に向け、まず、プラントの燃料消費量の実態を把握し、その燃料消費量に影響を与える要因の範囲を明らかにした。その上で、中温化技術について、中温化剤の製造も考慮に入れた CO₂ 排出量を試算し、前述の影響要因との組み合わせによる CO₂ 削減効果の検証を行った。また、HMA の製造温度の低減により、舗設後の交通規制時間減少による CO₂ 削減効果を明らかにした。

2. 検討概要および試算条件

本研究では、まず、プラントの燃料消費量の実態把握として、全国のプラントにヒアリングを行い、電力使用量、軽油使用量、重油使用量等を把握した。次に、プラントの燃料消費量に影響を及ぼす要因として、骨材含水比、骨材温度、加熱温度に注目し、影響の範囲を分析した。中温化技術については、HMA 製造時の加熱温度低減による CO₂ 排出量と中温化剤の製造に伴う CO₂ 排出量の試算を行った。また、中温化技術の副次的効果の一つである、交通規制時間の減少による CO₂ 排出量の減少の程度を試算した。最後に、HMA 製造に係る CO₂ 排出量について、実態の燃料消費量に、骨材含水比や骨材温度等の影響範囲を考慮に入れるとともに、中温化技術の適用した際の効果を試算した。

(1) HMA 製造に係る燃料消費量

a) 実際のプラントの燃料消費量

HMA の製造に係る消費燃料について、実態を把握するため、プラントにヒアリングを行った。

主な調査内容は、HMA 製造量、再生骨材製造量、燃料消費量等である。なお、プラントでの消費燃料は、電力、軽油、重油である。電力は、主にプラントの稼働、軽油は主に混合所内において骨材の移動に用いる重機、重油は主に骨材を加熱乾燥させるドライヤに用いられる。

新規骨材を用いた HMA(以下、新規 HMA)と再生骨材を用いた HMA(以下、再生 HMA)の燃料消費量は、プラントでは分離して記録することは困難であるのが現状である。その理由として、新規骨材加熱用ドライヤ(以下、V ドライヤ)は、新規 HMA だけでなく、再生 HMA にも使用することから、V ドライヤの燃料消費量をそのまま新規 HMA には用いられないからである。

よって、再生骨材加熱用ドライヤ(以下、R ドライヤ)の燃料消費量と再生骨材使用量から推測することとした。

HMA の製造に係る物質量の流れを図-2 に示す。

まず、新規 HMA の製造に係る燃料消費量 $L_{mix-V}[L]$ を算出した。

V ドライヤ燃料消費量 $L_{AP}[L]$ は、新規 HMA に用いる新規骨材と再生 HMA に用いる再生骨材を加熱する燃料が含まれており、これを分離する必要がある。それには、

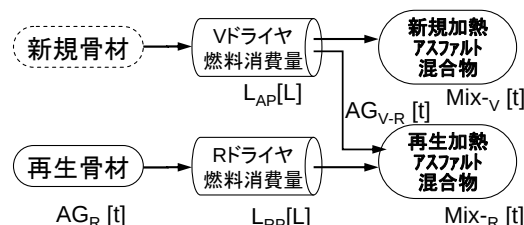


図-2 HMA の物質量の流れ

再生 HMA 生産量 $Mix_R[t]$ から再生骨材使用量 $AG_R[t]$ を除くことにより、概ね再生 HMA 用の新規骨材の使用量 $AG_{V-R}[t]$ となると考えた。

$$AG_{V-R} = Mix_R - AG_R \quad (1)$$

ここで、 AG_{V-R} : 再生 HMA に用いる新規骨材 [t]

Mix_R : 再生 HMA [t]

AG_R : 再生骨材使用量 [t]

これにより、新規 HMA の製造に要する燃料消費量 $L_{mix-V}[L]$ は以下となる。

$$L_{mix-V} = L_{AP} \cdot Mix_V / (Mix_V + AG_{V-R}) \quad (2)$$

ここで、 L_{mix-V} : 新規 HMA の製造に要する燃料消費量 [L]

L_{AP} : V ドライヤ燃料消費量 [L]

Mix_V : 新規 HMA 製造量 [t]

これに、新規 HMA 製造量[t]で除算することにより、t あたり燃料消費量が算出される。

一方、再生 HMA の製造に要する燃料消費量 $L_{mix-R}[L]$ は、R ドライヤの燃料消費量 $L_{RP}[L]$ と、V ドライヤの燃料消費量 $L_{AP}[L]$ から新規 HMA の製造に要する燃料消費量 $L_{mix-V}[L]$ を差し引いたものの和である。

$$L_{mix-R} = L_{RP} + L_{AP} - L_{mix-V} \quad (3)$$

ここで、 L_{mix-R} : 再生 HMA の製造に要する燃料消費量 [L]

L_{RP} : R ドライヤ燃料消費量 [L]

これに、再生 HMA 製造量[t]で除算することにより、再生 HMA 製造 t あたり燃料消費量[L]が算出される。

b) プラントの燃料消費量に影響を与える要因

HMA 製造に係る燃料消費量は、気象条件や材料の状態、製造工程等によって変化すると考えられるが、どの程度の影響範囲となるか不明である。また、これら諸条件をすべて取り入れた燃料消費量の推計は複雑であると考えられる。

よって、ここでは、計算をなるべく簡素化し、ドライヤでの骨材の加熱とミキサでのアスファルトおよび石粉の混合工程に着目し、骨材温度、含水比、加熱温度による燃料消費量の影響割合を算出した。

まず、試算に用いる HMA に係る物質量の流れを図-3 に示す。

骨材温度 $T_{ag}[^{\circ}C]$ 、含水比 $w_1[\%]$ である骨材は、ドライ

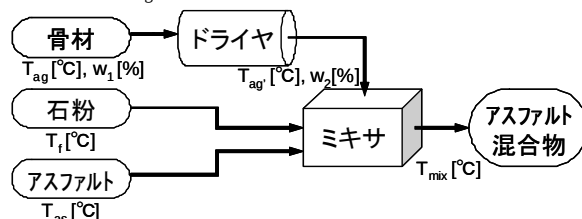


図-3 HMA 製造時の温度の流れ

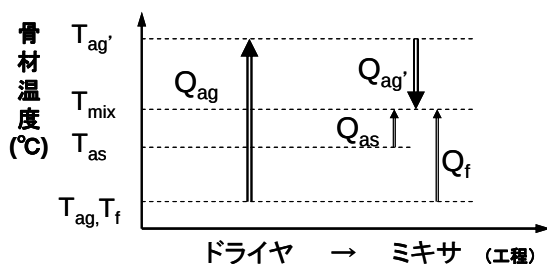


図-4 加熱 HMA 製造時に発生する熱量のイメージ

ヤによって加熱・乾燥され、ある温度 T_{ag} [°C] まで達する(このとき含水比は 0 になると仮定する)。その後、ミキサにおいて、 T_{as} [°C] のアスファルトおよび T_f [°C] の石粉を混合することによって、所定の温度 T_{mix} [°C] の HMA が製造される。この際に、発生する熱量は図-4 のとおりとなる。

Q_{ag} は、骨材の温度が T_{ag} [°C] から $T_{ag'}$ [°C] に昇温し、含水比が w_1 [%] から 0 [%] に変化するために要する熱量 [kcal] である。 $Q_{ag'}$ は、 T_{ag} [°C] の骨材がミキサにおいてアスファルトと石粉と混合され、熱交換により T_{mix} [°C] に変化する際に失われる熱量であり、 Q_{as} 、 Q_f は、アスファルトと石粉が T_{as} 、 T_f から T_{mix} に変化するために必要な熱量である。つまり、熱力学第一法則(エネルギー保存の原理)より、 $Q_{ag'}$ と Q_{as} 、 Q_f の関係は次式となる。

$$Q_{ag'} = Q_{as} + Q_f$$

これらに基づき、ドライヤの燃料消費量を以下の手順で試算した。

① ドライヤにおける骨材加熱量

② ミキサにおける熱交換

③ 骨材温度、骨材含水率、加熱温度による燃料消費量
まず、①ドライヤにおける骨材加熱量(Q_{ag})を算出するにあたり、ドライヤにおける骨材の加熱・乾燥に必要な熱量を整理すると、図-5 に示されるとおりである。これにより、加熱・乾燥に必要な熱量 Q_{ag} [kcal] は、以下に示す式で試算できる。

$$Q_{ag} = qa + qb + qc \quad (4)$$

qa : 骨材中の水分を T_{ag} [°C] から気化温度(ここでは、100°C とする)まで予熱する熱量 [kcal]

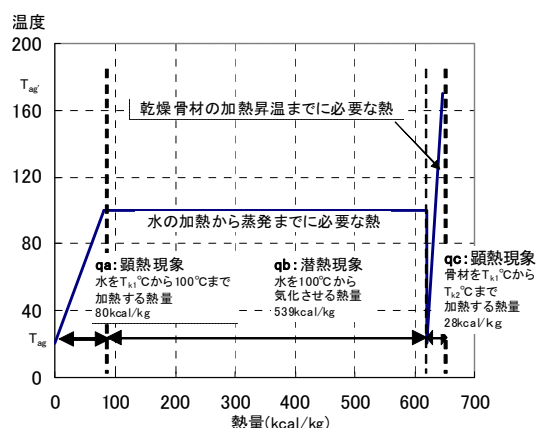


図-5 加熱・乾燥に必要な熱量イメージ(文献⁵⁾に加筆)

qb : 骨材中の水分を気化させる熱量 [kcal]

qc : 乾燥骨材を T_{ag} [°C] から $T_{ag'}$ [°C] まで昇温する熱量 [kcal]

ここで、骨材の加熱に必要な熱量(顕熱)は、以下の式によって表される。

$$dQ = c \cdot m \cdot dT \quad (5)$$

ここで、 dQ : 熱量 [kcal/kg]
 c : 比熱 [kcal/(kg·°C)]
 m : 質量 [kg]
 dT : 骨材温度 [°C]

したがって、 Q_{ag} [kcal] は、式(4)に式(5)で求める qa 、 qb 、 qc を代入することによって求められる。

$$Q_{ag} = m \cdot r_{ag} / 100 \cdot \{w_1 \cdot (100 - T_{ag}) + w_1 \cdot \lambda_w + C_{ag} \cdot (T_{ag'} - 100)\} \quad (6)$$

ここで、 m : HMA の質量 [kg]
 r_{ag} : 骨材配合率 [%]
 w_1 : 初期含水比 [%]
 T_{ag} : 初期の骨材温度 [°C]
 $T_{ag'}$: 加熱後の骨材温度 [°C]
 λ_w : 水の蒸発潜熱 [kcal/kg]
 C_{ag} : 骨材の比熱 [kcal/(kg·°C)]

次に、②ミキサにおける熱交換については、前述したとおり、ミキサにおいて加熱・乾燥された骨材と、アスファルト、石粉との混合・熱交換により、熱力学第一法則より、以下の関係が成り立つ。

$$Q_{ag'} = Q_{as} + Q_f \quad (7)$$

ここで、 $Q_{ag'} = C_{ag'} \cdot m \cdot r_{ag} / 100 \cdot (T_{ag'} - T_{mix})$
 $Q_{as} = C_{as} \cdot m \cdot r_{as} / 100 \cdot (T_{mix} - T_{as})$
 $Q_f = C_f \cdot m \cdot r_f / 100 \cdot (T_{mix} - T_f)$

したがって、加熱後の骨材温度は次式により求められる。

$$T_{ag'} = 1 / (C_{ag} \cdot m \cdot r_{ag} / 100) \cdot \{C_{as} \cdot m \cdot r_{as} / 100 \cdot (T_{mix} - T_{as}) + C_f \cdot r_f / 100 \cdot (T_{mix} - T_f)\} + T_{mix} \quad (8)$$

また、③骨材温度、骨材含水率、混合物温度による燃料消費量 L [L] は、次式により求められる。

$$L = Q_{ag} / (H \cdot s \cdot n) \quad (9)$$

ここで、 L : 重油の消費量 [L]
 H : 低発熱量 [kcal/kg]
 s : A 重油の比重 [kg/L]
 n : ドライヤ熱効率 [%]

この式(9)に、式(6)で求めた Q_{ag} 、式(8)で求めた $T_{ag'}$ を代入し、表に示す骨材温度 T_{ag} および T_f 、初期含水比 w_1 、混合物温度 T_{mix} を与えることによって求められる。

試算ケースを表-1 に、試算に用いる HMA の材料条件、ドライヤおよび各種設定条件を表-2 および表-3 に示す。

表-1 試算ケース

種類	単位	試算ケース
初期温度	骨材 T_{ag} °C	0, 10, 20, 30
	石粉 T_f °C	(骨材に同じ)
	アスファルト T_{as} °C	160 (固定)
初期含水比	骨材 w_1 %	1.0, 2.5, 4.0
混合物温度	T_{mix} °C	110, 130, 160, 180

表-2 HMA の材料条件

種類	配合率 [%]	比熱 [kcal/(kg·°C)]	出典
材料条件	骨 材	88.8	0.2
	石 粉	5.7	0.2
	アスファルト	5.5	0.5
			文献6*

※) 文献掲載値(0.4~0.6)より、中央値を設定

表-3 ドライヤやその他設定条件

種類	単位	設定値	出典
ドライヤ熱効率	n %	80	文献2※
A重油の低発熱量	H kcal/kg	10160	文献7
A重油の比重	s kg/L	0.86	
蒸発潜熱	λ_w kcal/kg	539	文献8

※) 文献掲載値(75%~85%)より、中央値を設定

(2) 中温化技術のCO₂排出量原単位

ここでは、中温化技術によるCO₂削減量の算出について、NETIS⁹⁾に登録しているメーカー等にヒアリングを行い、その効果を把握するとともに、CO₂排出量原単位を設定した。ヒアリングの内容は、中温化剤の種類や材料組成、配合割合、加熱温度低減量、中温化剤の製造に係るCO₂排出量について行った。なお、NETISに登録されている中温化技術は8技術(発泡剤5技術、粘度調整剤3技術)であり、HMA製造時の温度低減効果は20~30℃、コストは1.07~1.22倍であった。

(3) CO₂排出量の試算

プラントでの燃料消費量に影響を及ぼす骨材温度等によるCO₂排出量の変化、中温化技術による削減効果を試算するとともに、これらが舗装工事全体のCO₂排出量に与える影響を試算した。

まず、試算を行うにあたって、CO₂排出量原単位を設定した。原単位の設定には、2. (1)a)で検討した実際のプラントの燃料消費量(重油消費量、電力消費量、軽油消費量)に、同b)で試算する骨材温度、骨材含水比、混合物温度による重油消費量の変動を考慮に入れた。このCO₂排出量原単位に物質量(ここでは、HMAの質量)を乗ずることによってCO₂排出量を算出した。

また、中温化技術の適用によるCO₂削減効果について、混合物温度の低減による重油消費量の減少、および中温化剤の製造によるCO₂排出量を積み上げることによって算出した。

CO₂算出に用いた試算ケースは、過年度行った舗装補修工事におけるCO₂排出量の試算方法³⁾と同様とし、切削オーバーレイ工事を対象とした。工事規模は、道路の幅員3.25m、2車線、延長200m(施工面積1,300m²)である。工事内容は、既存の舗装面を3cm切削し、新規HMAにより表層5cmをオーバーレイする。工事に使用する資材の物質質量および機器等の使用数量は、工事規模や材料輸送量、および土木工事標準積算基準書¹⁰⁾等に従い材料条件(表-4)、対象工種の使用機器等により算出した。また、使用する資材等のCO₂排出量原単位を表-5に示す。

表-4 材料条件

名 称	材料条件
As混合物	基準密度:2.35t/m ³ 、ロス率:0.07、As量:5.5%、 碎石単位体積重量:2.7t/m ³
As乳剤	プライムコート散布量:1.26L/m ²

表-5 CO₂排出量原単位

項目	CO ₂ 排出量	出典
(単位)	(kg)	
アスファルト	kg	2.48E-01
碎石(新材)	t	9.05E-01
As乳剤	kg	1.60E-01

表-6 自動車の車種分類によるCO₂排出係数¹²⁾

(2010年予測値)

走行速度 (km/h)	小型車	大型車
	(g-CO ₂ /km・台)	
10	308.5	1345.5
40	151.7	835.5

(4) 交通規制時間の短縮によるCO₂の差

HMAの製造温度が低減されることにより、舗設後の交通規制時間が短縮され、渋滞時間も緩和することが特徴としてあげられている²⁾。したがって、ここでは、交通規制時間が短くなることによる、自動車からのCO₂排出量の低減効果を試算した。

自動車から排出されるCO₂は、自動車の平均走行速度によって異なる¹²⁾。ここでは、交通規制時と交通解放後では、自動車の交通速度が変化するものと仮定し、交通解放時は40km/h、交通規制時は10kmとした。その際、自動車から排出されるCO₂排出係数は、表-6に示すとおりである。

自動車から排出されるCO₂は、この排出係数に、交通量と距離を乗ずることによって求めることができる。

$$\text{自動車から排出されるCO}_2 = \text{EFiv} \cdot \text{TRi} \cdot \text{T} \cdot \text{K} \quad (10)$$

ここで、EFiv：車種区分i、平均速度v[km/h]時の自動車CO₂排出係数原単位[g-CO₂/(km・台)]

TRi：車種区分iの日交通量[台/(日・方向)]

T：時間[日]

K：距離[km]

この距離は、自動車がある平均速度で走行する距離を示している。本試算においては、工事区間を含め、交通規制により自動車の平均速度が変化する距離のことであり、渋滞が発生している距離(以下、渋滞距離)とした。

なお、この排出係数の表によれば、自動車の走行速度が10km/hから40km/hになることによって、CO₂排出量は小型車で5割、大型車で4割削減されることがわかる。また、上記CO₂排出量の算出式より、交通量、時間、渋滞距離に比例してCO₂も増加することが予想できる。

ここでは、交通規制時間の短縮によるCO₂排出量を算出することとし、算出方法は以下の式で表される。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量の差} = \text{交通規制時CO}_2 \text{ 排出量} - \text{通常交通時のCO}_2 \text{ 排出量} \quad (11)$$

交通規制時間の短縮によるCO₂排出量について、試算ケースを表-7に示す。

表-7 試算ケース

試算ケース	設定値		
交通開放時間の差(分)	30	60	
交通量(台/(日・方向))	N4	N6	
小型車	911	9,111	
大型車	200	2,000	
距離(km)	0.5	1.0	1.5

交通規制時間の差は、35分～50分という報告¹³⁾やNETISに記載の30分～1時間などの値がある。これより、本試算では、早期交通開放の時間差を30分および1時間とした。

自動車の交通量は、舗装計画交通量の交通量区分 N4 と N6 の道路を対象とした。具体的には、大型車の交通量(台/(日・方向))は N4 交通の場合、大型車 200 台とし、N6 交通の場合は 2,000 台と仮定した。小型車の交通量は、一般国道の大型車混入率が統計¹⁴⁾によると 18% であることから、大型車の交通量から逆算したものである。

渋滞距離については、舗装工事による渋滞距離に関する知見が見あたらなかったことから、0.5km、1.0km、1.5km と想定した。

3. 環境負荷量の試算結果

(1) HMA 製造に係る燃料消費量

a) 実際のプラントの燃料消費量

プラントへのヒアリングの結果、有効回答を得られたのは全国 29 施設であった。内訳は、東北 4、北信越 2、関東 8、東海 3、近畿 1、中国 3、四国 3、九州 5 のプラントである。年間の HMA 製造量は、図-6 に示すように 2 万～18 万[t]の範囲にあり、1 施設あたりの平均は約 10 万[t]であった。得られた HMA 製造量や燃料消費量の概要を表-8 に示す。

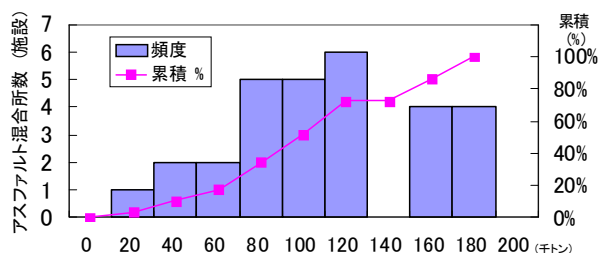


図-6 HMA 製造量毎の施設数

表-8 HMA 製造量や燃料消費量の概要

項目	単位	合計	項目	単位	合計
加熱アスファルト混合物製造量	千t	2,977	新規混合物製造量	千t	795
			再生混合物製造量	千t	2,182
重油消費量	千L	27,859	再生骨材使用量	千t	1,170
電力消費量※1	千kWh	31,485	VDライヤ重油消費量	千L	15,449
軽油消費量※1	千L	770	RDライヤ重油消費量※2	千L	12,410

※1) 電力および軽油は、有効回答数が30および33であり、その際の混合物製造量は 3,034,068tおよび3,275,811tである

※2) RDライヤの重油消費量には脱臭炉の燃料分も含まれている施設もある

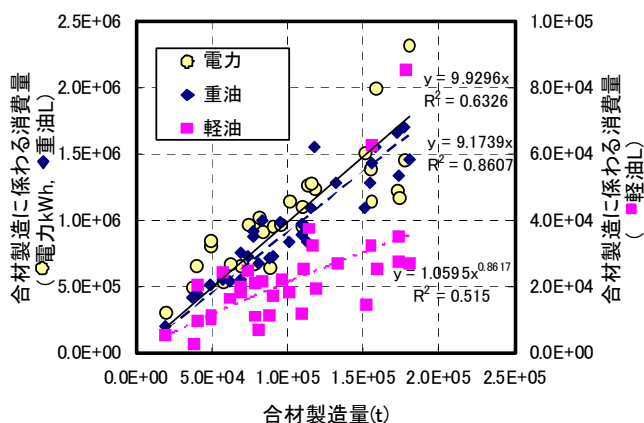


図-7 HMA 製造量と重油消費量、電気消費量、軽油消費量の関係

各プラントにおける、年間の HMA 製造量と軽油使用量、電気消費量、重油消費量の関係を図-7 に示す。いずれも HMA 製造量と相関が見られ、電力と重油では線形近似で高い相関が見られた。軽油については、場内の面積や配置などの影響もあり相関性が若干低く、また生産規模の大きい施設ほど生産効率が上がる傾向があり、累乗近似となった。なお、HMA 製造 t あたりの電気消費量、軽油消費量は、10[kwh]、0.23[L] となった。

HMA 製造に係る重油消費量の調査結果を図-8 に示す。HMA 全体では、製造 t あたりの重油消費量は 7.2～13.2[L] の範囲にあり、平均は 9.4[L] であった。これは、日本アスファルト合材協会の統計¹²⁾による全国平均 9.4[L] と同じ値となった。また、2. (1a) より、新規 HMA および再生 HMA の重油消費量は、新規 HMA は 5.6～12.8[L] の範囲で平均は 8.4[L]、再生 HMA は 7.4～14.2[L] の範囲で平均 9.7[L] となった。

b) プラントの燃料消費量に影響を与える要因

HMA 製造に係る燃料の消費量について、2. (1b) で求めた式(9)に従い、骨材温度、骨材含水率、混合物温度の条件による重油消費量を算出した。骨材温度 20℃、含水比 3%、混合物温度 160℃を標準とし、各要因の影響範囲の比率を算出したものを図-9 に示す。

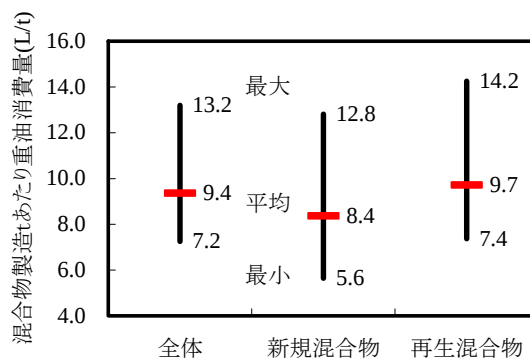


図-8 HMA 製造に係る重油消費量

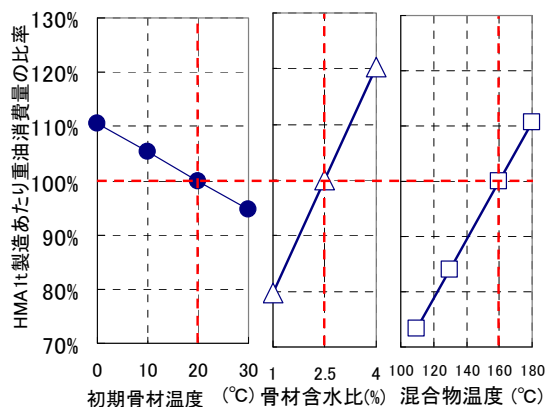


図-9 骨材温度、骨材含水率、混合物温度による
重油消費量の比率

この図によれば、重油消費量は、骨材含水比、混合物温度の上昇と共に増加し、初期骨材温度の上昇とともに減少する。混合物温度以外は、実際の変動を想定して設定しているが、骨材含水比については特に傾きが大きくなっており、影響度合いが大きいことがわかった。

ここで、混合物温度、初期骨材温度、骨材含水比の組み合わせによる重油消費量の範囲を図-10 に示す。考えられる組み合わせとして、骨材温度 20℃、含水比 2.5% を基本ケース(ケース 1)とし、図-9 の値を参考に、重油消費量が増加する場合(ケース 2: 骨材温度 10℃、含水比 4%)、減少する場合(ケース 3: 骨材温度 30℃、含水比 1%) の 3 ケースとした。この重油消費量に、先に示した標準値(骨材温度 20℃、含水比 2.5%、混合物温度 160℃)に対する比率を示した。

ここで、混合物温度が通常の 160℃では、重油消費量はケース 1 に比べて、ケース 2 では 126%に増加し、ケース 3 は 75%に減少する。また、中温化技術の適用を想定した場合、ケース 1 では、30℃低減タイプは 84%、50℃低減タイプは 73%と低減効果が大きくなり、ケース 3 の条件では、さらに低減量が大きくなることが試算された。

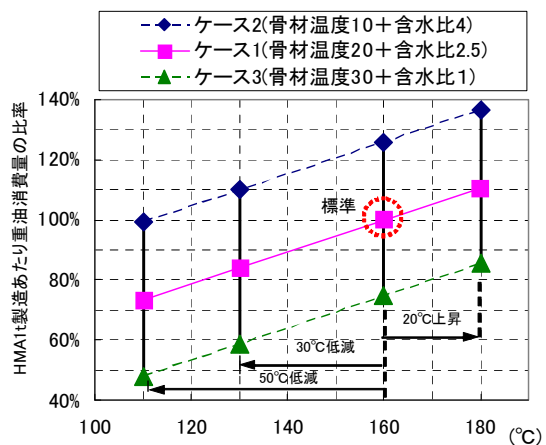


図-10 骨材温度、骨材含水率、混合物温度の組み合わせ
による重油消費量の比率

表-9 中温化技術の種類 (ヒアリング結果)

中温化のタイプ	加熱温度の低減量	配合割合(As量に対して)
発泡剤タイプ (5技術)	20～50℃	2.0～7.2%
粘度調整タイプ (3技術)	30℃	3%, 3.6%※

※内割りでアスファルトと置き換えるタイプ

表-10 中温化剤の製造に係る CO₂ 排出量原単位

項目 (単位)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	備 考
発泡剤タイプ kg	1.28E-01 6.82E-01	ヒアリング
粘度調整タイプ kg	2.48E-01	アスファルト製造の環境 負荷原単位を代用

ただし、混合物温度を 130℃に低減した場合でも、ケース 2 の条件では 110%となり、標準値(骨材温度 20℃、含水比 3%、混合物温度 160℃)より重油消費量が多くなり、CO₂ 排出量も多くなることが懸念される。

(2) 中温化技術の CO₂ 排出量原単位

中温化技術のヒアリング結果、8 技術について回答が得られ、その概要を表-9 に示す。中温化剤のタイプは、発泡剤タイプ5技術、粘度調整剤タイプ3技術であった。これら各中温化技術による CO₂ 削減量については、加熱温度の低減によりプラントの燃料消費量を削減することができ、比例して CO₂ 排出量も削減するとしていた。

また、中温化剤の製造に係る CO₂ 排出量については、いずれの技術も材料組成について明確なデータが得られなかったが、発泡剤 3 技術についてメーカ等により CO₂ 排出量原単位として試算した値を得ることができた。この発泡剤タイプ3技術のうち、2技術は30℃低減タイプ、1技術は50℃低減タイプである。CO₂ 排出量原単位の範囲を表-10 に示す。

一方、粘度調整タイプについては、材料組成、CO₂ 排出量原単位いずれも明確なデータが得られなかった。

ここで粘度調整タイプは、アスファルトと同様の組成を有する石油生成物である。アスファルトの環境負荷原単位の作成⁸⁾においては、石油精製による製品は全て同等として計算されているため、本研究においては粘度調整タイプの CO₂ 排出量原単位はアスファルトと同様として代用した。

(3) CO₂ 排出量の試算

まず、プラントでの燃料消費量に影響を及ぼす骨材含水比、混合物温度、重油消費燃料による CO₂ 排出量の変化を試算した。試算にあたって、3. (1) a)で明らかにした実際のプラントの燃料消費量(重油消費量、電力消費量、軽油消費量)により、新規 HMA 製造に係る CO₂ 排出量原単位を設定した。また、骨材温度、骨材含水比、混合物温度による影響について、同(1)b)で設定したケース 1(20℃、2.5%、160℃)を標準とし、CO₂ 排出量が増加す

表-11 新規 HMA 製造に係る CO₂ 排出量原単位

			CO2 (kg)					
基本原単位	電力(kWhあたり)		4.46E-01					
	重油(Lあたり)		2.83E+00					
	軽油(Lあたり)		2.72E+00					
作成 原単位	新規 混合物 製造		tあたり 消費量	CO2 (kg)	(ケース2)	CO2 (kg)	(ケース3)	CO2 (kg)
		電力	10 kWh	4.46E+00	10 kWh	4.46E+00	10 kWh	4.46E+00
		重油	8.4 L	2.38E+01	10.6 L	3.00E+01	6.3 L	1.78E+01
		軽油	0.23 L	6.26E-01	0.23 L	6.26E-01	0.23 L	6.26E-01
		合計(=原単位:単位/t)		2.89E+01	—	3.50E+01	—	2.29E+01

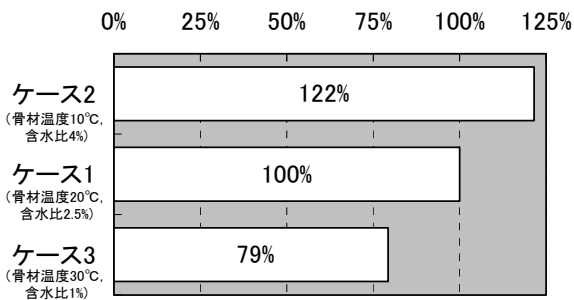


図-11 新規 HMA 製造に係る CO₂ 排出量の変化

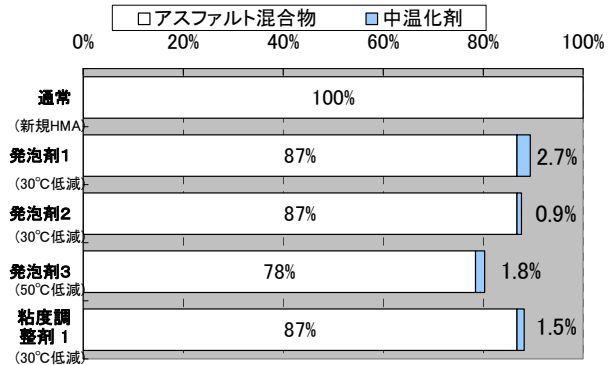


図-12 中温化技術の適用による CO₂ 削減効果

るケース 2(10℃, 4%, 160℃)の場合、重油使用量を 126%, 減少するケース 3(30℃, 1%, 160℃)の場合、同 75%として、原単位に反映させた結果を表-11 に示す。

これにより、新規 HMA 製造に係る CO₂ 排出量を試算した結果を図-11 に示す。これにより、混合物温度が 160℃においても、骨材温度、含水比の差異によって 79%～122%となることがわかった。

次に、中温化技術を用いることによる CO₂ 排出量削減効果について算出した。この際、混合物温度を低減した際の CO₂ 排出量原単位(30℃低減、50℃低減)について、前述と同様、重油消費量を基本ケースから、30℃低減タイプは 84%, 50℃低減タイプは 73%として算出した。また、中温化剤の製造に係る CO₂ 排出量原単位は表-10 で示した発泡タイプ 3 技術、粘度調整剤タイプ 1 技術を用い算出した。通常の HMA の製造に係る CO₂ 排出量を基準(100%)としてその比率を図-12 に示す。

中温化技術を適用した際には、いずれの技術も中温化剤の製造に係る CO₂ 排出量分が増加することになり、図-12 においても「中温化剤」の CO₂ 排出量は増加しているのがわかる。しかし、通常の新規 HMA に比較して増加分は 0.9%から 2.7%であった。これにより、中温化技術を適用した際は、HMA 混合物の製造時に係る CO₂ 排出量は、全体として 10～20%削減することが明らかとなった。

以上より、HMA 製造に係る CO₂ 発生量について、骨材温度、骨材含水比、混合物温度による変化、中温化技術の適用による削減量が明らかになった。よって、こ

では、これらを組み合わせた際の、舗装工事全体(切削オーバーレイ工事)の CO₂ 排出量がどの程度削減されるか算出した。結果を図-13 に示す。

本図では、新規混合物、中温化技術(代表値として発泡剤 1 と 3 を抽出)の CO₂ 発生量を棒グラフで示しており、記載している数値は新規 HMA 混合物に対する CO₂ 総量の削減割合である。また、骨材温度および骨材含水比を変化させた際の CO₂ 総量の影響範囲を棒グラフ上端に示しており、上側が前述のケース 2(増加ケース)、下側がケース 3(減少ケース)とした場合の CO₂ 排出総量である。特に、削減効果が大きなケース 3 は図中括弧書きで削減割合を記載している。

中温化技術の全体の舗装工事としての CO₂ 排出量の削減効果は、-4%～-8%となった。また、プラントの燃料消費量が減少するケース 3(骨材温度 30℃, 骨材含水比 1%)

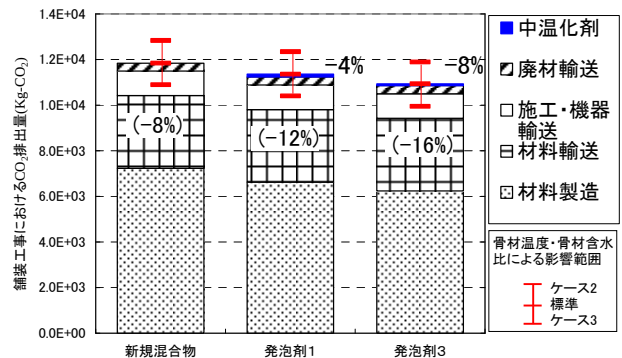


図-13 中温化技術の適用による CO₂ 排出総量削減効果

では、CO₂排出量は-12～-16%と大きな削減効果が見込まれることがわかった。

その一方で、中温化技術を用いた場合においても、骨材の条件が悪いケース2では、通常のHMA混合物よりCO₂排出量が多くなることがわかった。

このことから、骨材の運搬およびプラントでの保管については、雨水に曝されないよう対策を行うことが重要と言える。また、寒冷期の舗装工事より、温暖期に舗装工事を行うほうがCO₂排出量の削減量が少ないことが定量的にも示すことができたと考えられる。

(4) 交通規制時間の短縮によるCO₂排出量

2. (4)において式(11)で示した交通規制時間の短縮によるCO₂排出量の試算方法に従い、交通量および渋滞距離毎に試算した結果を図-14に示す。交通規制時と開放時のCO₂排出量は、平均走行速度が10km/hから40km/hになることによって、いずれのケースも-44%の削減効果となる。また、この図によるといずれのケースも交通規制時間、交通量、渋滞距離が大きいほど、CO₂排出量も削減されている。

次に、このCO₂削減量と舗装工事全体との割合を比較した。本試算でCO₂削減量が一番多くなったのはN6交道路で渋滞距離が1.5km、規制時間を60分短縮した場合で153[kg-CO₂]となった。これを、3. (4)で試算した切削オーバーレイ工事における総CO₂排出量[kg-CO₂]と比較すると、1.3%となり、総量の削減効果は決して大きいとは言えない。しかし、これから低炭素社会に向け、少しでもCO₂削減に向けた取り組みを行う必要があることを考えれば、無視できない削減量であると考えられる。

5. まとめ

今回得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 全国約30箇所のプラントに燃料消費量の実態調査を行った結果、HMA製造tあたりの電気消費量は10[kwh/t]、軽油消費量0.23[L/t]、重油消費量は全体平均で9.4[L/t]、新規HMA8.4[L/t]、再生HMA9.7[L/t]であった。

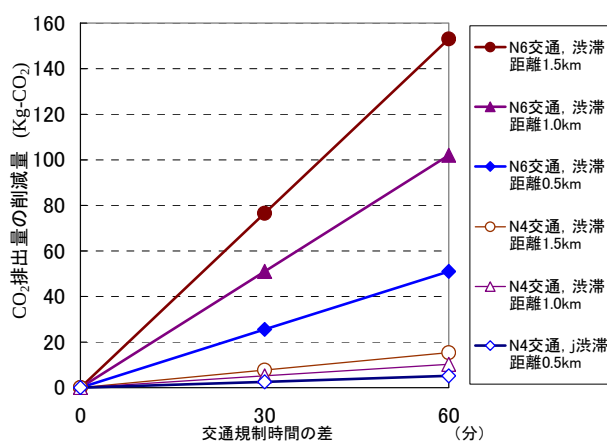


図-14 交通規制時間の差によるCO₂排出量

- 2) HMA製造に係る重油消費量は、骨材温度、骨材含水比、混合物温度により変化し、混合物温度160℃、骨材温度20℃、含水比2.5%を標準とした場合、混合物温度を30℃下げることによって、重油消費量は16%減、50℃低減すると27%減となる。また、同じ混合物温度でも、骨材温度10℃、含水比4%では26%増、骨材温度30℃、含水比1%で25%減となる。

- 3) 中温化剤（発泡剤タイプ）の製造に係るCO₂排出量原単位は0.128～0.682[kg-CO₂/kg]となった。中温化技術により混合物製造温度を30～50℃低下させた場合、通常の新規HMA製造に係るCO₂排出量より約10～20%削減することが出来る。

- 4) 中温化技術の適用により交通規制時間が削減された場合、交通規制時と交通解放時の平均速度の違いにより-44%のCO₂削減効果となる。これを、舗装工事全体のCO₂発生量と比較した場合、最大で1.3%であった。

6. おわりに

今回の試算により、骨材温度、骨材含水比、混合物温度によるCO₂排出量の影響範囲、中温化技術のCO₂削減効果について明らかにすることが出来た。今後は中温化剤のCO₂排出量原単位について更なる精査を行うと共に、弱加熱技術や常温製造技術などCO₂排出量の削減に寄与する他技術の算定を行い、舗装工事全体のCO₂削減方策について、研究を進めていく予定である。

謝辞

本研究を行うにあたって、鹿島道路㈱、大成ロテック㈱、大有建設㈱、日工㈱、㈱NIPPO、日本道路㈱、福田道路㈱、前田道路㈱の皆様にご提供を頂いた。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) 首相官邸ホームページ：麻生内閣総理大臣記者会見（温室効果ガス排出削減の中期目標について）（H21.6.10）
- 2) (社)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
- 3) 川上篤史、新田弘之、加納孝志、久保和幸：舗装再生工法の環境負荷評価について、土木学会舗装工学論文集、第14巻、pp.71-78、2008
- 4) 吉中保、根本信行、市原利昭：中温化技術の適用温度の低減化に関する検討、土木学会舗装工学論文集、第4巻、pp.135-142、1999
- 5) 福川光男：講座舗装技術者のための建設機械の知識 第13回 アスファルトプラント(1)、舗装、Vol.43-1、pp.37-44、2008
- 6) 土木学会舗装工学編集委員会：舗装工学、(社)土木学会、1995
- 7) 久保田濃監修：乾燥装置、(財)省エネルギーセンター、1985
- 8) 自然科学研究機構国立天文台：理科年表平成21年、丸善、2008
- 9) NETIS ホームページ(<http://www.netis.mlit.go.jp/>)

- 10) 国土交通省：平成 19 年度土木工事標準積算基準書(河川・道路編)
- 11) 新田弘之，西崎到：廃タイヤ，廃プラスチック再生資材の舗装利用に関する LCA，土木学会舗装工学論文集，第 14 巻，pp. 79-86，2008
- 12) 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，Vol. 43，No. 11，pp. 50-55，2001
- 13) 寺田剛：中温化技術の現状，舗装，vol. 36-11，pp. 9-14，2001
- 14) 道路交通センター：平成 17 年度道路経済調査データ集，2005
- 15) 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報（平成 19 年度），2008

CO₂ EMISSIONS AND INFLUENCING FACTORS IN PRODUCING HMA

Atsushi KAWAKAMI, Hiroyuki NITTA, Takashi KANOU and Kazuyuki KUBO

In the life-cycle of pavement such as material production, material transportation, construction and disposal, the 60% of CO₂ through those four steps is emitted when producing materials. The 60% of CO₂ during the material production is emitted when producing HMA (Hot Mix Asphalt). To reduce the amount of fuel consumption for producing HMA means reducing CO₂ emission in the whole pavement work. In this study, it confirms the fuel consumption and the causes that affect it in asphalt plant, and also CO₂ emission of WMA (Warm Mix Asphalt) was calculated. Consequently, the fuel consumption in asphalt plant depends on aggregate temperature, aggregate water content rate, and producing temperature of HMA. It is also clear that also considering produce WMA additive, the amount of CO₂ emission is reduced.