

# 舗装の生産性向上に向けた ポリマー改質アスファルトの 役割

新井 崇史\*

本報文では、平成30年2月14、15日に、金沢流通会館(金沢市)で開催された第95回アスファルトゼミナールで報告した内容について、一部加筆修正して掲載します。

## 1. はじめに

アスファルト混合物は、施工や補修が容易な材料として多くの舗装に利用されている。近年では、厳しい財政事情のもと公共事業のコスト縮減や維持管理の効率化が強く求められており、道路舗装においても既存ストックの有効利用技術の促進や長寿命化、生産性の向上などが求められている。ポリマー改質アスファルトを用いた混合物は、アスファルト舗装の耐久性を向上させる目的で、主に高速道路や主要幹線道路などで利用され、現代のライフラインの構築に必要な舗装材料となっている。

今回のアスファルトゼミナールでは、「アスファルト舗装の生産性向上に向けたポリマー改質アスファルトの役割」と題し、最近のポリマー改質アスファルトの動向とともに、アスファルト舗装の生産性向上に関する実際の取組み事例について報告した。以下に、その内容について述べる。

## 2. ポリマー改質アスファルトについて

### 2.1 ポリマー改質アスファルトとは

ポリマー改質アスファルトとは、ストレートアスファルトに改質材を加えたものである。改質材を加えることで、アスファルトの軟化点、接着力、粘度などが上昇する。この結果、ポリマー改質アスファルトは、アスファ

ルト舗装の長寿命化、高耐久化、高機能化を実現することができる。

ポリマー改質アスファルトは、大きく「プレミックスタイプ」と「プラントミックスタイプ」に分けられる。図-1に、それぞれのタイプの製造イメージを示す。

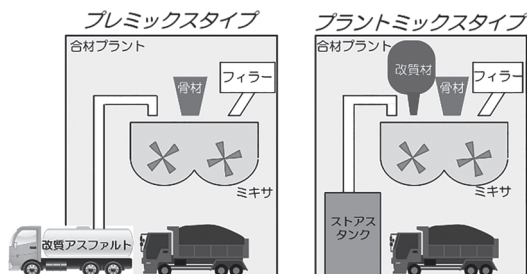


図-1 プレミックスタイプとプラントミックスタイプの違い

「プレミックスタイプ」は、あらかじめストレートアスファルトに改質材を混合し、製造したポリマー改質アスファルトを用いて、アスファルト混合物を製造する。一方、「プラントミックスタイプ」は、アスファルト混合物の製造プラントにおいて、ストレートアスファルトおよび骨材やフィラーと同時に混合ミキサに直接改質材を投入する。

\*あらい たかふみ 一般社団法人 日本改質アスファルト協会 会員

## 2.2 ポリマー改質アスファルトの歴史

表-1に、日本におけるポリマー改質アスファルトの歴史を示す。

表-1 ポリマー改質アスファルトの歴史

1950～	ポリマー改質アスファルトの小規模試験舗装
1960～	SBR/NRを使用した積雪寒冷地での試験舗装
1967～	建設省（現国土交通省）と北海道開発局によるポリマー改質アスファルトの本格的試験施工
1977～	ゴム入りアスファルトの技術向上のための研究開始 ゴム入りアスファルトの標準的性状が舗装要綱に記載
1988～	ポリマー改質アスファルトの普及 舗装要綱に品質基準が示される
1999～	排水性舗装/低騒音舗装の普及 ポリマー改質アスファルトの多様化
2006～	ポリマー改質アスファルトの名称および規格改訂
2010～	グリーン購入法に基づく特定調達品目に 「中温化アスファルト混合物」が追加される ⇒中温化ポリマー改質アスファルトの普及 コンクリート床版の基層にて ポリマー改質アスファルトⅢ型-Wが活用

ポリマー改質アスファルトの試験運用が始まったのは、1950年代である。その後、1960年代のモータリゼーションの本格化による交通荷重の増大に伴い、流動わだち掘れやひび割れ対策として重交通用バインダが適用されるようになった。

さらに、1990年代後半頃から、環境・安全というニーズに応えるため、低騒音・排水性アスファルト舗装が急増したことで、ポリマー改質アスファルトH型の利用が増加した。その後、低騒音・排水性アスファルト舗装を様々な箇所に適用するため、鋼床版用、積雪寒冷地用、高耐久型、交差点用などのポリマー改質アスファルトH型が開発された。

2010年に、中温化アスファルト混合物がグリーン購入法に基づく特定調達品目に追加され、省エネルギーかつ作業環境を改善できるとして、中温化ポリマー改質アスファルトの普及が加速してきた。

このように、ポリマー改質アスファルトに求められる性能は、時代の様相とともに変化しており、その要求性能に適合した技術開発が進められてきた。

## 2.3 改質材について

近年、熱可塑性エラストマーのスチレン・ブタジエン・スチレンブロック共重合体（以下、SBS）が低温から高温まで優れた性能を発揮できるため、主流な改質材として利用されている。

図-2に、供用温度でのSBSの3次元ネットワークの模式図を示す。供用温度となる常温領域では、ポリスチレンドメインが擬似架橋によって3次元ネットワークを形成することにより、高い凝集力を発揮するため塑性変形抵抗性が向上する。また、ポリブタジエン部位が優れたゴム弾性を発揮するため、ひび割れ抵抗性が向上する。一方、ポリマー改質アスファルトを高温加熱すると、3次元ネットワークは開放され、流動性を示すため施工性が確保される。

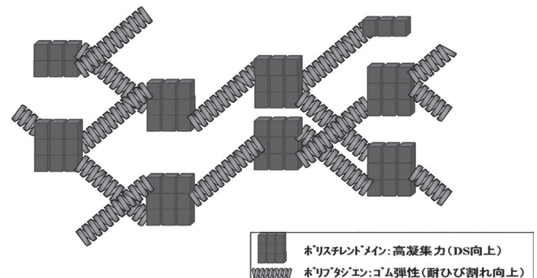


図-2 SBSの3次元ネットワーク形成の模式図

ポリマー改質アスファルトの性能は、SBSの添加量によって大きく変化する。図-3に、ポリマー改質アスファルトのSBS添加量と軟化点の関係を示す。SBS添加量の増加とともに、ポリマー改質アスファルトの軟化点は上昇する。特にSBSの添加量が約7%を超えると、

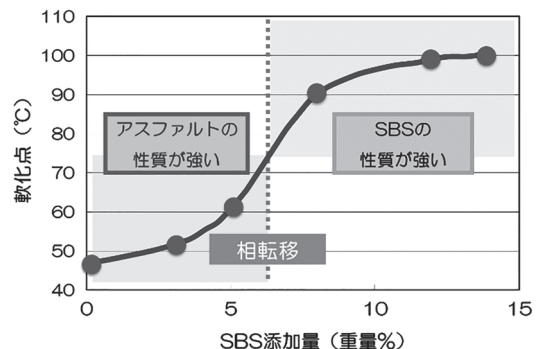


図-3 SBS添加量と軟化点の関係

急激に軟化点が上昇する。

また図-4に、顕微鏡によって観察されたポリマー改質アスファルト中のSBS相溶形態を示す。図-4において、暗い部分がアスファルト、明るい部分がSBSである。ポリマー改質アスファルトⅠ型、Ⅱ型などのSBS添加量が7%以下の場合には、アスファルトが示す粘性的な性質が強くなるアスファルト連続相となり、一方、ポリマー改質アスファルトH型などSBS添加量が7%以上の場合にはSBSの持つゴム弾性的な性質が強いSBS連続相となる。

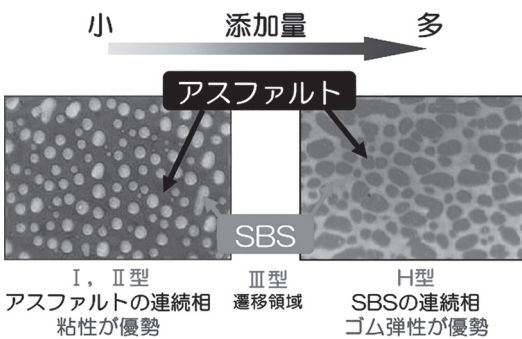


図-4 SBS相溶形態

## 2.4 ポリマー改質アスファルトの種類

表-2に、ポリマー改質アスファルトの種類と適用箇所を示す。舗装用のポリマー改質アスファルトは、適用される混合物の機能に応じて種類を選定する必要がある。

ポリマー改質アスファルトは、Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型およびH型に分類される。Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型は密粒度、細粒

度、粗粒度などのアスファルト混合物に用いられ、大型車の交通量に応じた塑性変形抵抗性を有するバインダが適用される。

また、橋面舗装用に用いられるポリマー改質アスファルトには、耐水性に優れたポリマー改質アスファルトⅢ型-Wや、可とう性に優れたポリマー改質アスファルトⅢ型-WFがある。

橋面舗装では、雨水の滞留や浸透により骨材とアスファルトがはく離しやすい問題点があり、耐水性に優れたバインダが求められている。ポリマー改質アスファルトⅢ型-Wは、ポリマー改質アスファルトⅢ型の耐水性を向上させ、骨材との付着性を改善したグレードであり、雨水の滞留や浸透による骨材とアスファルトのはく離を抑制することでコンクリート床版上の舗装の耐久性が向上する。

鋼床版上の橋面舗装では繰り返される交通荷重によりたわみ、アスファルト舗装上にひび割れ等が発生しやすく、たわみ追従性に優れたバインダが求められている。ポリマー改質アスファルトⅢ型-WFは、ポリマー改質アスファルトⅢ型の耐水性およびたわみ性が向上したグレードであり、鋼床版上の舗装の耐久性を向上させることができる。

ポーラスアスファルト舗装用のバインダには、一般地域用のポリマー改質アスファルトH型や積雪寒冷地用のポリマー改質アスファルトH型-Fがあり、その他適用箇所や用途に応じて、高耐久型ポリマー改質アスファルト、寒冷地用高耐久型ポリマー改質アスファルト、ねじれ抵抗性改善型ポリマー改質アスファルト、鋼床版用ポリマー改質アスファルトがある。

表-2 ポリマー改質アスファルトの主な適用箇所<sup>1)</sup>

混合物機能	種類 付加記号	Ⅰ型		Ⅱ型		Ⅲ型		H型	
		-W	-WF	-W	-WF	-W	-WF	-F	
適用混合物	適用混合物	密粒度、細粒度、粗粒度等の混合物に用いる。Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型は、主にポリマーの添加量が異なる。							
主な適用箇所	主な適用箇所	ポーラス混合物に用いる。ポリマー添加量が多い							
塑性変形抵抗性	一般的な箇所	◎							
	大型車交通量が多い箇所		◎					◎	◎
	大型車交通量が著しく多い箇所及び交差点			◎	○	○	○	○	○
摩擦抵抗性	積雪寒冷地域	◎	◎		○	○	○		
骨材飛散抵抗性								○	◎
耐水性	橋面 (コンクリート床版)			○	○	◎			
たわみ追従性	橋面 (鋼床版)			○	○		◎		
	たわみ小						◎		
	たわみ大						◎		
排水性 (透水性)								◎	◎

W: 耐水性、F: 可とう性、◎: 適用性高い、○: 適用可能、空欄: 要検討

## 3. ポリマー改質アスファルトの生産性向上の役割

ポリマー改質アスファルトの生産性向上の役割について、「安定供給」、「ライフサイクルコスト (以下、LCC) の削減」、「品質確保」、「環境負荷低減」の4つの観点からそれぞれの事例を紹介する。

### 3.1 安定供給

ポリマー改質アスファルト製造メーカーの責務として、「品質の安定化」、「貯蔵安定性の向上」、「安定供給

の確保」が挙げられる。

図-5に、ポリマー改質アスファルト製造工場の所在地を示す。現在、ポリマー改質アスファルトの製造工場は全国を網羅しており、ストレートアスファルトと同等の安定供給が可能となっている。



図-5 ポリマー改質アスファルト製造工場マップ

安定供給への取り組みに関する事例として、高機能ゲースアスファルト混合物の専用バインダの検討が報告されている<sup>2)</sup>。ゲースアスファルト混合物は鋼床版舗装の基層として広く使用されているが、そのバインダは20%程度のトリニダッドレイクアスファルト(以下、TLA)を含んでいる。TLAは海外より入手しているため、汎用性が低い。さらに、TLAの軟化点が著しく高いため、240℃の高温で施工する必要があるという問題点がある。

これらの課題に対し、TLAを使用せず、特殊なポリマー改質アスファルトのみで従来のゲースアスファルト混合物と同等の施工性かつ性能を発揮する工法について検討されている。この特殊ポリマー改質アスファルトを用いることで、既存の施工機械を用いた180℃での流し込み施工が可能となる。

### 3.2 LCCの削減

ポリマー改質アスファルトを利用することで、アスファルト舗装の耐流動性や耐水性能の向上が期待できるが、長寿命化に対する費用対効果の検証例は少ない。

図-6に、累積大型車交通量と累積わだち掘れ量の関

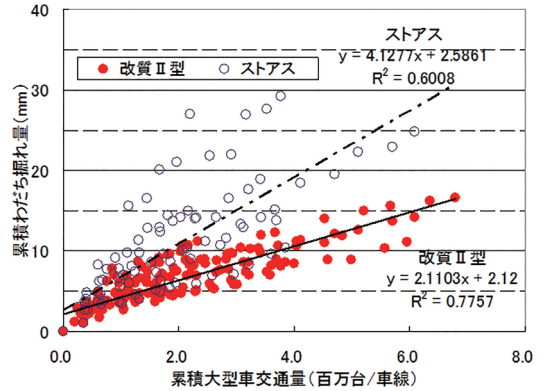


図-6 わだち掘れのパフォーマンスカーブ

係を示す。累積大型車交通量の増加に伴い、累積わだち掘れ量は直線的に増加しているが、ポリマー改質アスファルトII型混合物を用いることで、その値はストレートアスファルトの値の半分程度となる<sup>3)</sup>。

舗装の供用性をひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性によって定量的に評価した維持管理指標MCI (Maintenance Control Index)では、MCI=4以下と評価された場合、修繕が必要であるとしている。図-7に、累積大型車交通量とMCIの関係を示す。ポリマー改質アスファルトII型混合物を用いることでMCI=4以下となるまでの累積大型車交通量は大幅に増加し、ストレートアスファルトを用いた場合と比べて、修繕を要するまでの期間を1.8倍に延ばすことが可能であると試算されている。

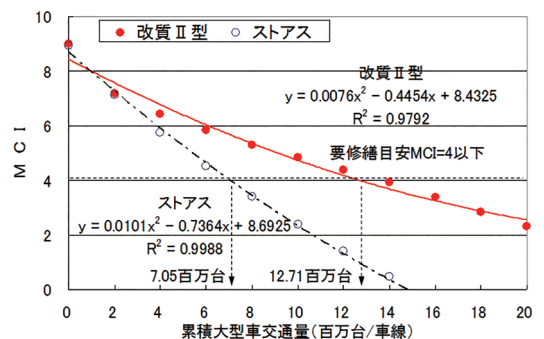


図-7 舗装の維持管理指数 (MCI) のパフォーマンスカーブ

### 3.3 品質確保

冬の施工ではアスファルト混合物の温度が低下しや

すく、現場に到着した際にダマが発生しやすい傾向にある。このダマが舗設時に取り込まれてしまった場合、ポットホール発生要因となる可能性がある。そこで、中温化ポリマー改質アスファルトを使用し、温度低下時の施工について検証している<sup>4)</sup>。

図-8に、中温化ポリマー改質アスファルト混合物の縮固め特性の一例を示す。従来のポリマー改質アスファルトⅡ型混合物は温度の低下とともに縮固め度が低下するのに対して、中温化ポリマー改質アスファルトⅡ型混合物は温度が130℃まで低下しても、良好な縮固め度を確保した。これにより、中温化ポリマー改質アスファルトⅡ型混合物は、従来ポリマー改質アスファルトⅡ型混合物よりも縮固め温度を30℃程度低減可能と考える。

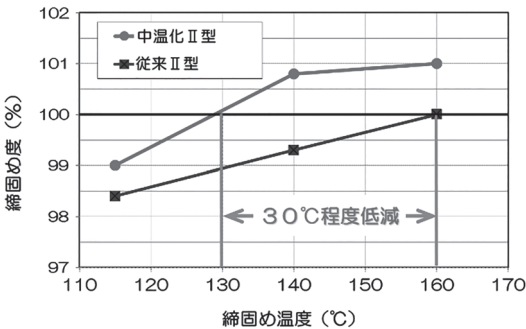


図-8 中温化ポリマー改質アスファルトの縮固め特性

中温化ポリマー改質アスファルトの評価方法について検討した例で、図-9に、バインダの複素せん断粘度の異相成分とアスファルト混合物の密度の関係を示す。針入度や軟化点といった従来の性状評価方法では、中温化ポリマー改質アスファルトとポリマー改質アスファルトを区別することができない。しかし、DSR試験

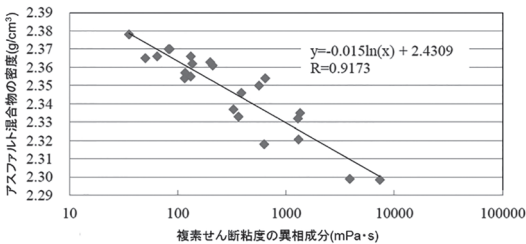


図-9 バインダの複素せん断粘度の異相成分とアスファルト混合物の密度の関係

(Dynamic Shear Rheometer) から得られる複素せん断粘度の異相成分とアスファルト混合物の縮固め性に一定の相関があることを示している<sup>5)</sup>。DSR試験とは、アスファルトを平行にねじることにより負荷を与え、ねじれに対する材料の抵抗値(複素弾性係数: |G\*|)と負荷をかけた際のひずみ、およびその時間のずれ(位相角:  $\delta$ )を測定する試験である。これらの値を使って、評価するアスファルトの粘弾性特性を把握することができる。今後、中温化ポリマー改質アスファルトの性能基準を定めるうえで有効な評価方法となりうる。

また、橋面舗装へのポリマー改質アスファルトの適用が増えているが、下地となる床版温度や風の影響などでアスファルト混合物の温度が低下しやすく、縮固め不足や耐久性能の低下が懸念されているが、縮固め温度が低下しても、縮固め度が低下しにくい施工性改善型ポリマー改質アスファルトⅢ型-Wを提案をした例がある<sup>6)</sup>。

### 3.4 環境負荷低減

中温化ポリマー改質アスファルトを使用することで、アスファルト混合物製造時の温度を下げるができるため、省エネルギー化や地球温暖化ガスの排出抑制など、環境負荷低減に貢献できると考えられる。ここでは、再生改質アスファルト混合物に適用した事例について紹介する。

表-3に、中温化材を使用しない場合と使用した場合のアスファルト混合物の製造温度を示す。再生骨材を用いる場合では、再生骨材中に含まれるアスファルトの劣化を抑制するため、再生骨材の加熱温度が制限される。ここでは、中温化材を入れることで新規骨材の加熱温度を80℃程度下げることが可能となった<sup>7)</sup>。

表-4に、骨材加熱に伴うCO<sub>2</sub>発生量の比較を示す。中温化アスファルト混合物は加熱アスファルト混合物と

表-3 各アスファルト混合物の製造温度

項目	加熱アスファルト混合物	中温化アスファルト混合物
新規骨材加熱温度	240℃	163℃
再生骨材(30%)	140℃	140℃
出荷温度	168℃ (目標175℃)	143℃ (目標145℃)

表-4 骨材加熱に伴うCO<sub>2</sub>発生量の比較

項目	加熱 アスファルト混合物	中温化 アスファルト混合物
A重油使用量 ℓ/t	7.7	6.3
A重油の原単位 kg-CO <sub>2</sub> /ℓ	2.71	
中温化材の原単位 kg-CO <sub>2</sub> /t	538	
中温化材の使用量 kg/t	0	13
中温化材によるCO <sub>2</sub> 増加分 kg/t	-	0.085
CO <sub>2</sub> 発生量 kg/t	20.9	17.2

比較して、混合物1トン当たり、プラントの燃料消費量が18%削減でき、これに伴い地球温暖化ガスであるCO<sub>2</sub>発生量が3.7kg削減されることがわかった<sup>7)</sup>。

#### 4. 新たな性能評価方法について

アスファルトは、供用中、粘性流体および弾性固体の両方の特性を示し、その粘弾性状が舗装のひび割れ率や動的安定度と高い相関を持つとの報告がある<sup>8)</sup>。そこで、DSR試験によるアスファルトの粘弾性状評価は、ポリマー改質アスファルトの新たな評価方法として提案されている。

##### 4.1 DSR試験から得られる測定値が規格として採用されている事例

首都高速道路(株)において、骨材飛散抵抗性や騒音低減効果を高めた最大粒径5mmの小粒径ポーラスアスファルト舗装に適用するポリマー改質アスファルトにDSR試験が適用されている<sup>9)</sup>。

小粒径ポーラスアスファルト舗装には、せん断抵抗性と曲げ疲労ひび割れ抵抗性を高めるため、小粒径ポーラスアスファルト混合物用ポリマー改質アスファルトH型が標準化されている。表-5に、小粒径ポーラスアスファルト混合物用ポリマー改質アスファルトH型の規格を示す<sup>9)</sup>。表中の赤で示す項目は、DSR試験により得られる性状値であり、せん断応力はすえ切り抵抗性を評価する指標、 $|G^*| \cdot \sin \delta$ は繰り返し曲げによるひび割れ抵抗性を評価する指標とされている。

表-5 小粒径用ポリマー改質アスファルトH型の規格<sup>9)</sup>

試験項目(抜粋)	改質H型	小粒径H型	
針入度(25°C)	1/10mm	40以上	35以上
軟化点	°C	80以上	80.0以上
フラース脆化点	°C	-	-20以下
曲げ仕事量(-20°C)	kPa	100以上	1000以上
曲げスティフネス(-20°C)	MPa	450以下	100以下
せん断応力(60°C)	Pa	-	900以上
$ G^*  \cdot \sin \delta$ (25°C)	kPa	-	700以下

##### 4.2 DSR試験から得られる測定値が規格として提案されている事例

トレーラーなどの大型車両が頻繁に渋滞する箇所や、港湾等特殊な重荷重車両が低速で走行する箇所には、一般的なアスファルトと比べて塑性変形抵抗性を高めた重荷重用ポリマー改質アスファルト(以下、重荷重用)が適用されている。

また、重荷重用よりも極めて高い塑性変形抵抗性を発揮する超重荷重用ポリマー改質アスファルト(以下、超重荷重用)について報告している<sup>10)</sup>。超重荷重用の塑性変形抵抗性を評価するため、低速走行を想定した通常の1/4の走行速度(10.5回/分)の超低速ホイールトラッキング試験を行っている。

図-10に、試験結果を示す。70°Cにおける超重荷重用の動的安定度の値は、ポリマー改質アスファルトII型の40倍、重荷重用の7倍と高い塑性変形抵抗性を有している。

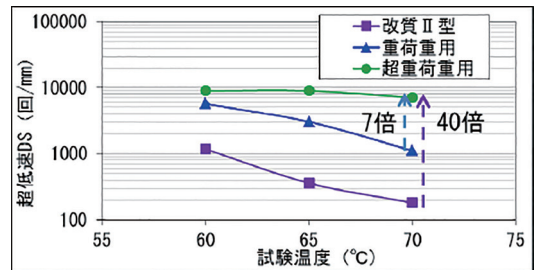


図-10 超低速ホイールトラッキング試験結果

表-6に、バインダ性状の比較を示す。軟化点を比較すると重荷重用と超重荷重用に大きな違いは見られないが、DSR試験から得られる $|G^*| \cdot \sin \delta$ を評価すること

表-6 超重荷重用ポリマー改質アスファルトの性状値

項目	超重荷重用	参考		
		改質Ⅱ型	超重荷重用	
針入度 (25°C)	1/10mm	47	52	51
軟化点	°C	97.0	65.5	89.0
G*/sin δ (70°C)	kPa	1.628	0.271	0.912
引火点	°C	340	334	322
薄膜加熱質量変化率	%	-0.03	0.03	-0.03
薄膜加熱後の針入度残留率	%	83.0	80.8	82.4

により精度よく評価できる。

## 5. おわりに

図-11に、当協会発行のポリマー改質アスファルトに関するパンフレットのイメージを示す。このパンフレットでは、ポリマー改質アスファルトの概要や使用方法および適用効果について、図(絵)によって分かりやすく説明している。これは、利用者に分かりやすい情報を提供するための活動成果であり、HP上でも公開している。

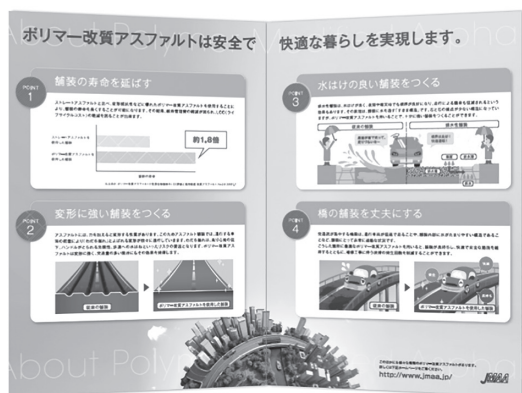


図-11 ポリマー改質アスファルトのパンフレット

図-12に、当協会の将来に向けた展望を示す。当協会では、多様なニーズに応えるために、適材適所のポリマー改質アスファルトに関する技術開発や情報交換を継続して行っていく。また、これらの活動を通して、高耐久、LCC低減、省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減、資源有効利用、リサイクルなど、さらなる社会貢献を目指していきたい。

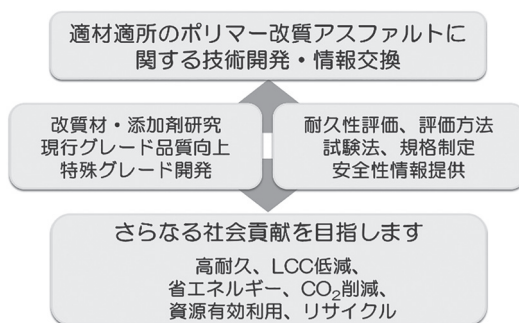


図-12 将来に向けた展望

## 参考文献

- 1) 日本改質アスファルト協会、ポリマー改質アスファルト ポケットガイド、2015
- 2) 田中 他、床版防水機能を有する橋面舗装の開発、舗装、Vol.52 No.3、2017
- 3) 丸山 他、ポリマー改質アスファルトⅡ型混合物のLCC評価と適用範囲、改質アスファルト、Vol.29、2007
- 4) 野口 他、施工性改善型改質アスファルトの冬期施工における効果の検証、第67回土木学会年次講演会、2014
- 5) Noguchi, Development of new Polymer Modified Bitumen for service life extension and sustainability enhancement by controlling rheological properties, ISAP2017、2017
- 6) 西田 他、橋面舗装の長寿命化を目指した特殊ポリマー改質アスファルトの開発、第31回日本道路会議、2015
- 7) 平戸 他、アスファルトに添加可能な界面活性剤系中温化剤の開発とその評価、道路建設、2010
- 8) 社団法人日本道路協会、舗装調査・試験法便覧、2007
- 9) 首都高速道路株式会社、舗装設計要領、2015
- 10) 舌間 他、重荷重用車両が走行しても塑性変形抵抗性に優れるバインダの開発、第32回日本道路会議、2017