



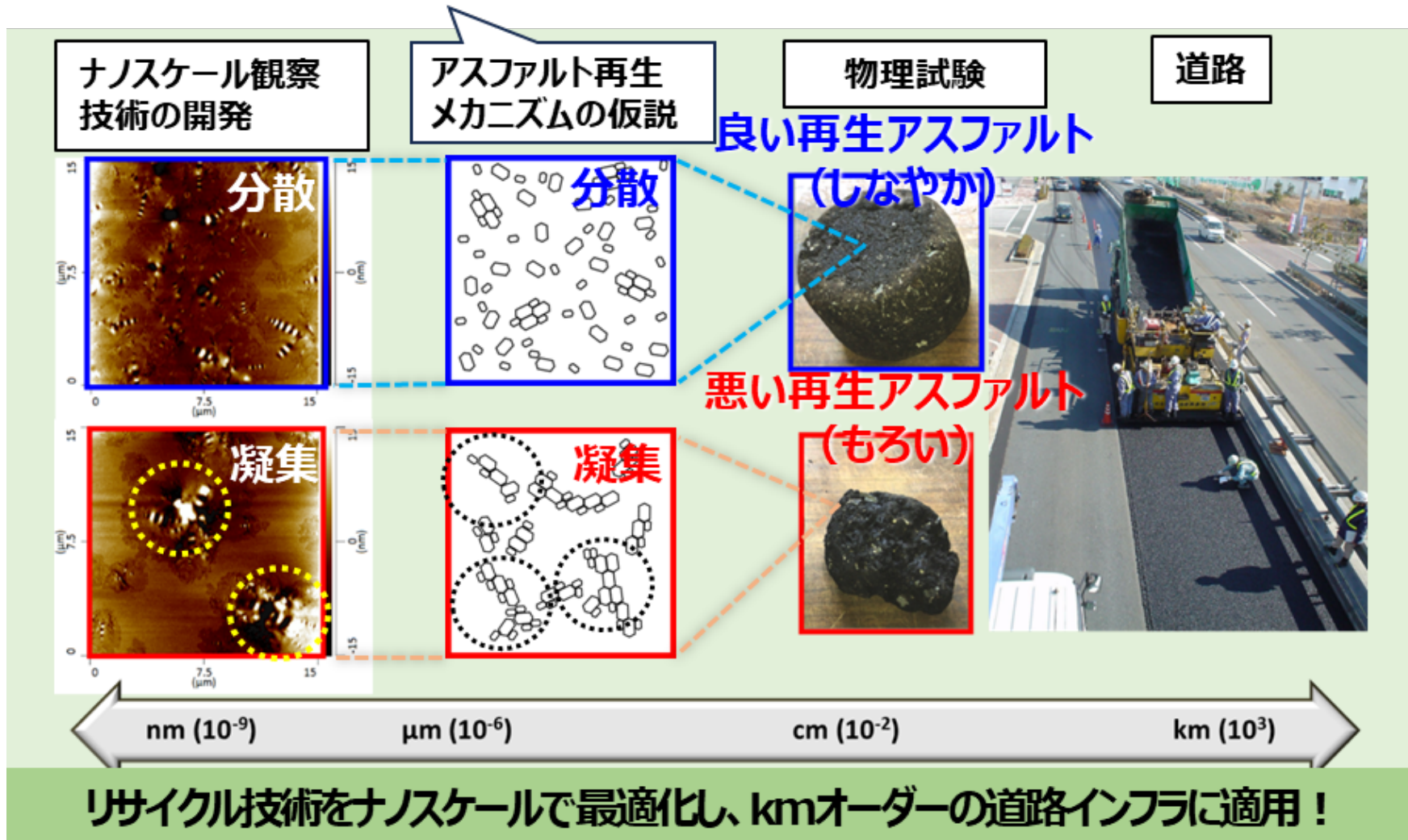
道路舗装再生にナノ分析法を適用し、 日本の道路を守る

百武 壮

国立研究開発法人 土木研究所
先端材料資源研究センター

道路舗装劣化にナノ分析法を適用し、日本の道路を守る

再生後の**劣化因子の分散(しなやか)・凝集(もろい)**
を見分けることに成功。※従来は数週間かけてアスファルト抽出、供試体作製、物理試験で判断。



アスファルト舗装ができるまで

製油所



アスファルト



アスファルト混合物プラント



アスファルト
混合物



採石場



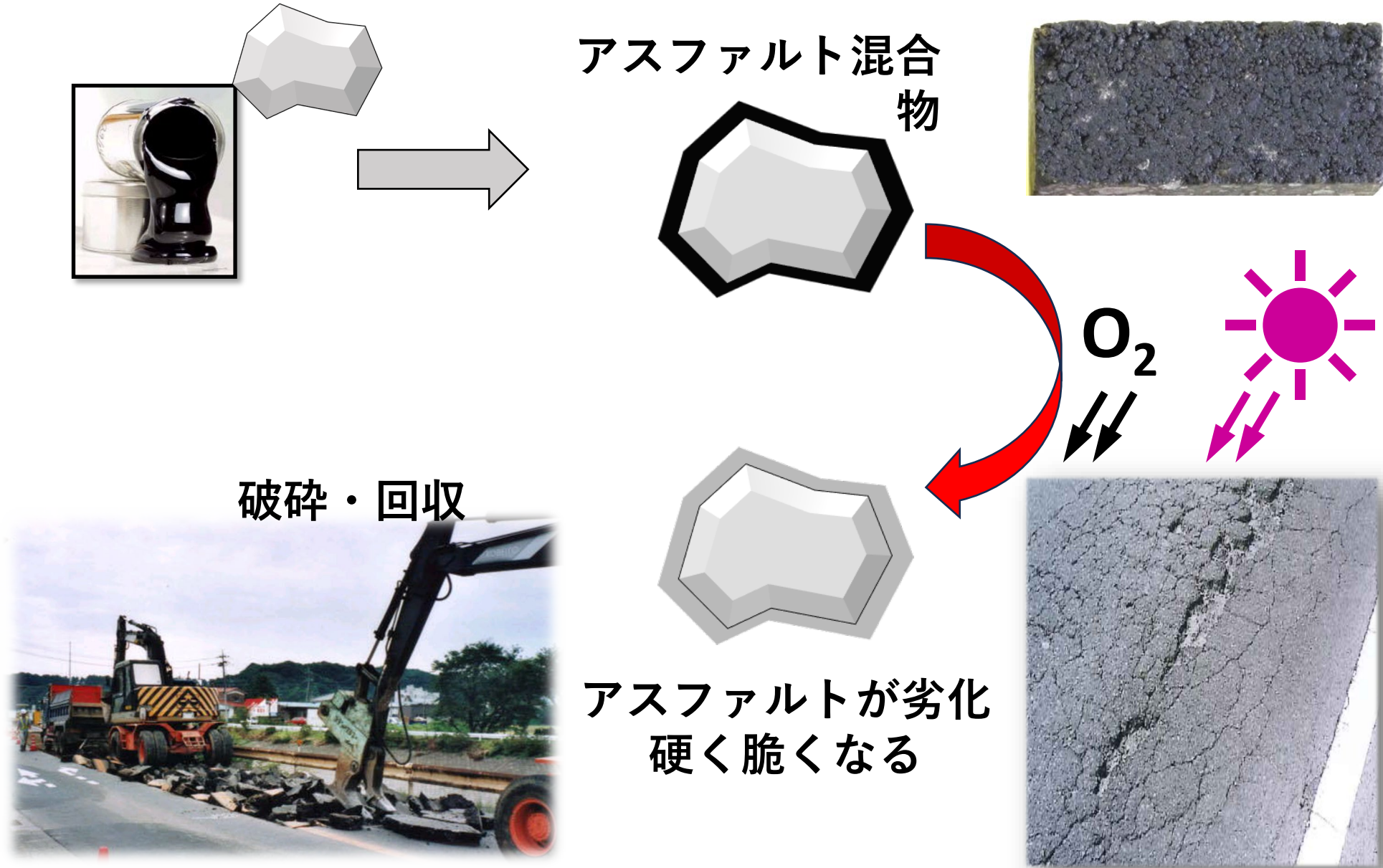
骨材



施工現場



アスファルト舗装のリサイクル

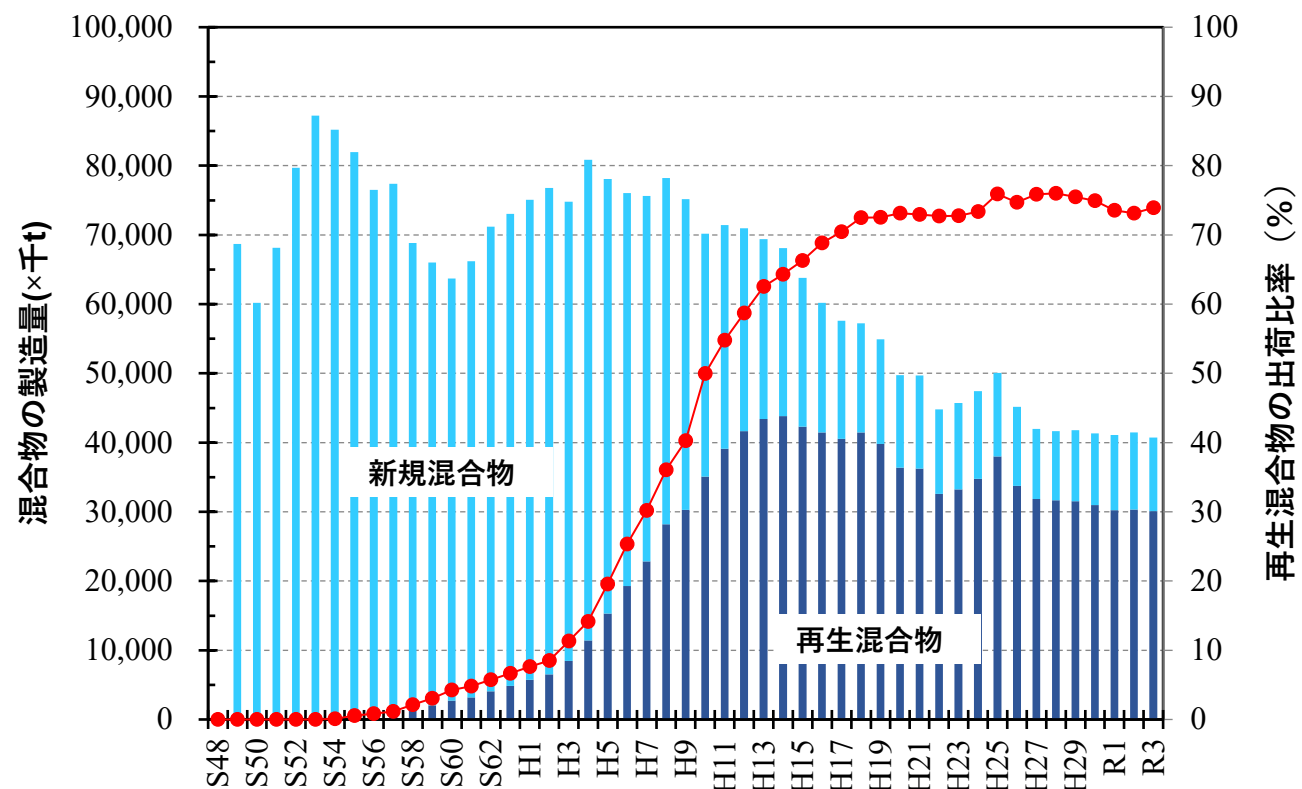


アスファルト舗装のリサイクル



アスファルト混合物の製造数量

- 製造数量は減少傾向、近年は4000万トン
- 再生混合物の割合は増加傾向
1998年に50%、近年では75%付近を推移
⇒**再生混合物は舗装インフラにとって必要不可欠**



出典：（一社）日本アスファルト合材協会
アスファルト合材統計年報

再生用添加剤の組成と特徴

飽和分系が主成分
低粘度が多い

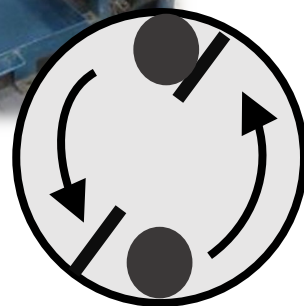
芳香族分系が主成分
飽和分系よりも高粘度が多い



再生用添加剤の組成による合材の性能差

近年、再生用添加剤の組成によって
再生混合物の性能が異なる事が報告されている

- 性能試験の例：高温カンタブロ試験



飽和分系で再生



石飛び損失 大

芳香族分系で再生



石飛び損失 小

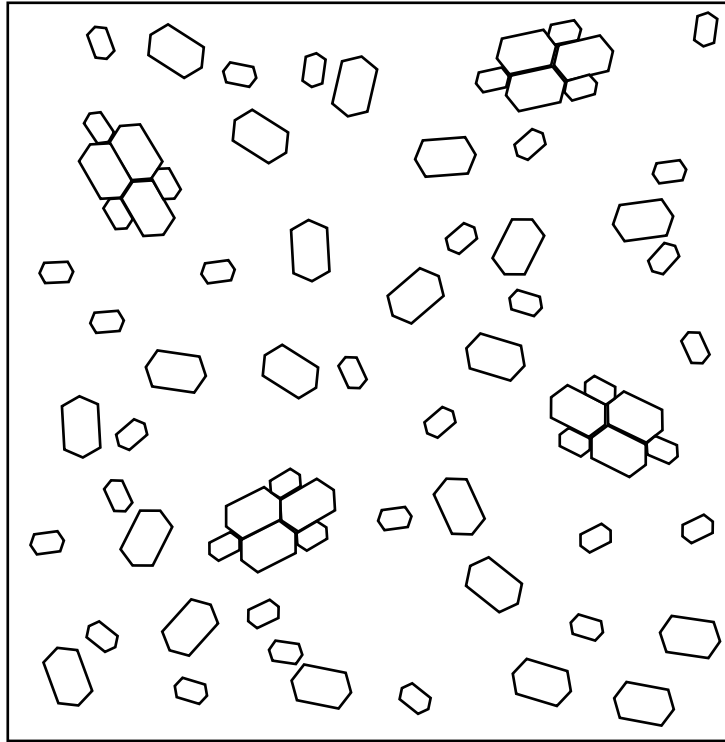
持続的な舗装リサイクルには最適な再生用添加剤の選定が重要

アスファルトに何が起きているのか？ 解明が必要！

アスファルトのコロイド分散状態 模式図〈劣化〉

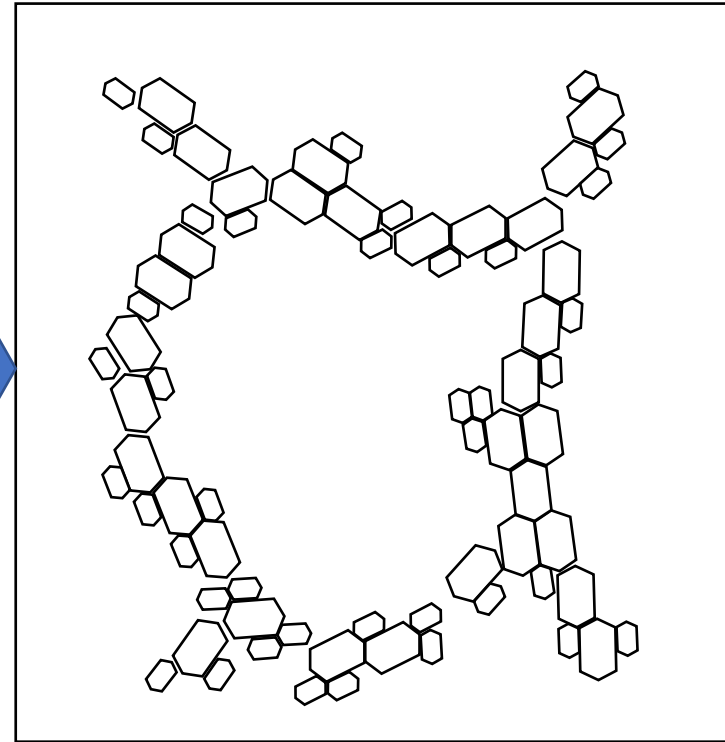
- これまで考えられてきた仮説 (数nm～数 μ m)

劣化前



様々な分子量を有する炭化水素の集まり
高分子成分が分散している状態

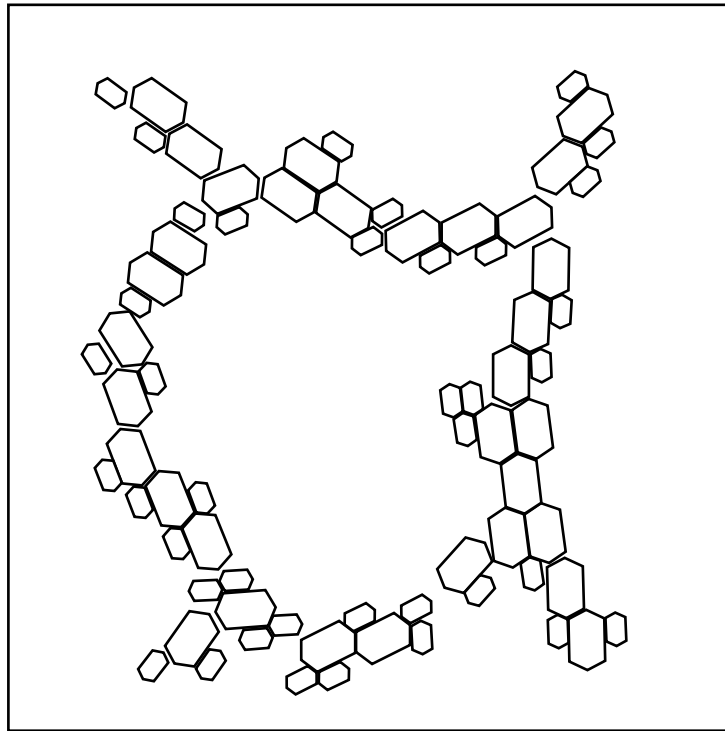
劣化後



アスファルトが酸化することによりネットワークを形成
→硬く脆くなる

アスファルトのコロイド分散状態 模式図〈再生〉

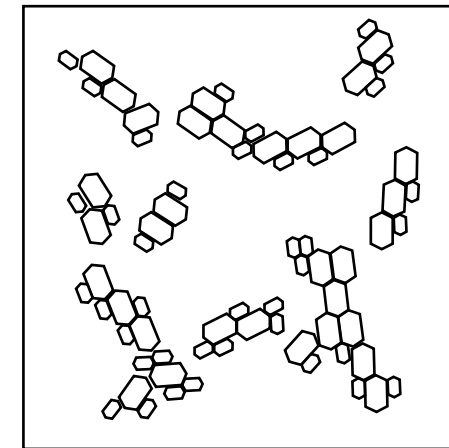
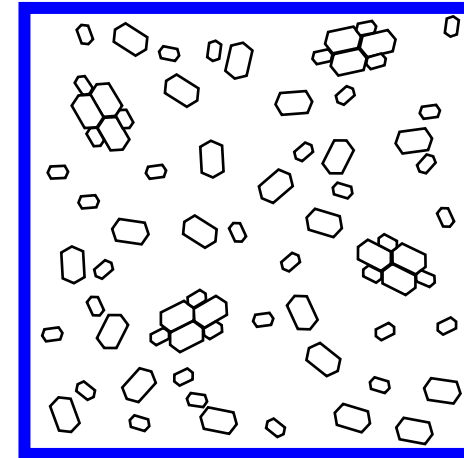
- これまで考えられてきた仮説



劣化アスファルト

(数nm～数 μ m)

こちらが理想！



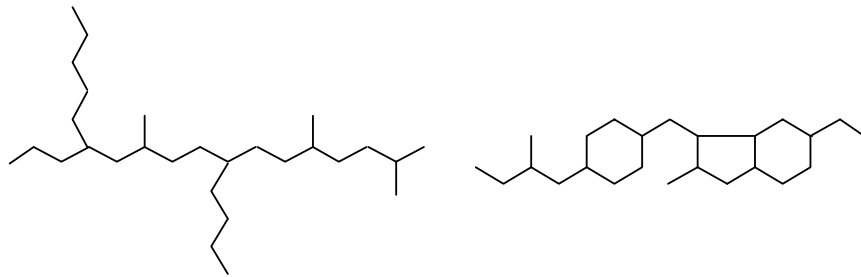
永続的なリサイクルには分子レベルでの回復が必要と考えられてきた

アスファルト、再生用添加剤の成分

- アスファルトや再生用添加剤は、**飽和分**、**芳香族分**、**レジン分**、**アスファルテン分**の成分に分けられ、構成比などが性状に影響する

1) 飽和分

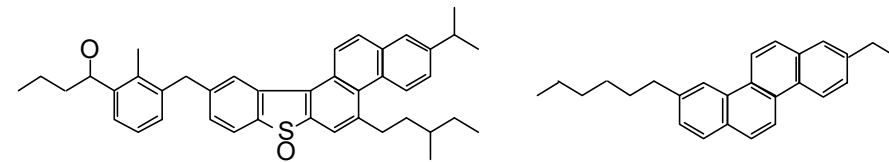
飽和分は、直鎖アルカンに溶解するもので、二重結合を持たない炭化水素である。パラフィン系飽和分とナフテン系飽和分がある。



飽和分の構造例

2) 芳香族分

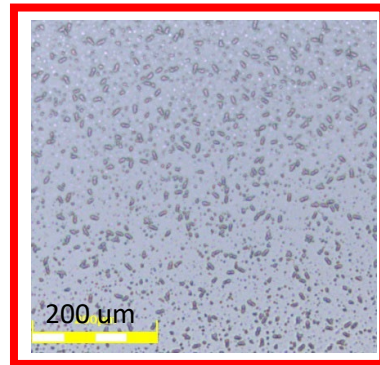
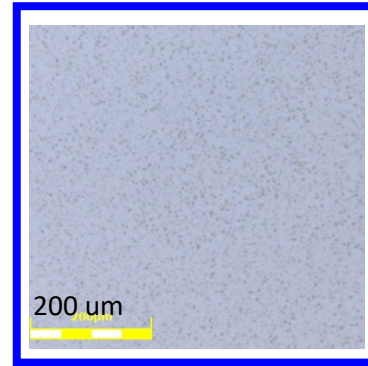
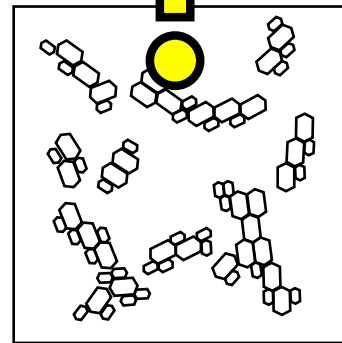
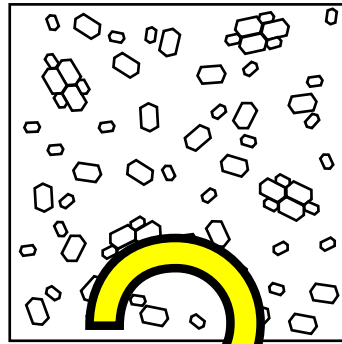
芳香族分は、ナフテン系芳香族分子の小さい分子量のものであり、アスファルテンを解膠させる媒体として大きな役割を果たしている。



芳香族分の構造例

The Shell Bitumen Handbook より

アスファルト舗装再生のスケール



分子レベルの
分散仮説

光学顕微鏡

混合物
物理試験

舗装

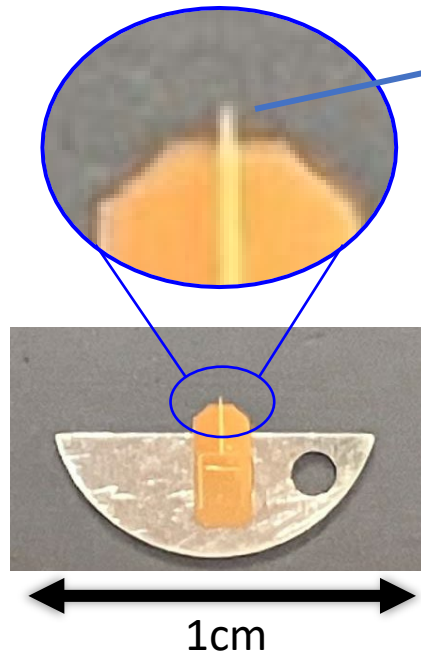
AFM-IR ナノスケール分析装置



AFM：原子間力顕微鏡(**A**tom**F**orce **M**icroscopy)

×

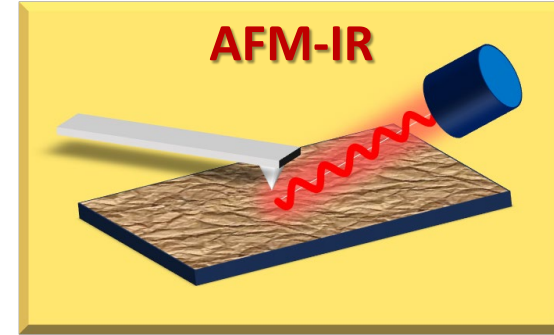
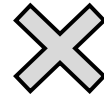
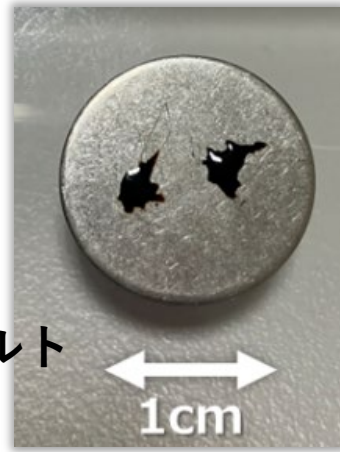
IR：赤外分光法(**I**nfr**R**ed spectroscopy)



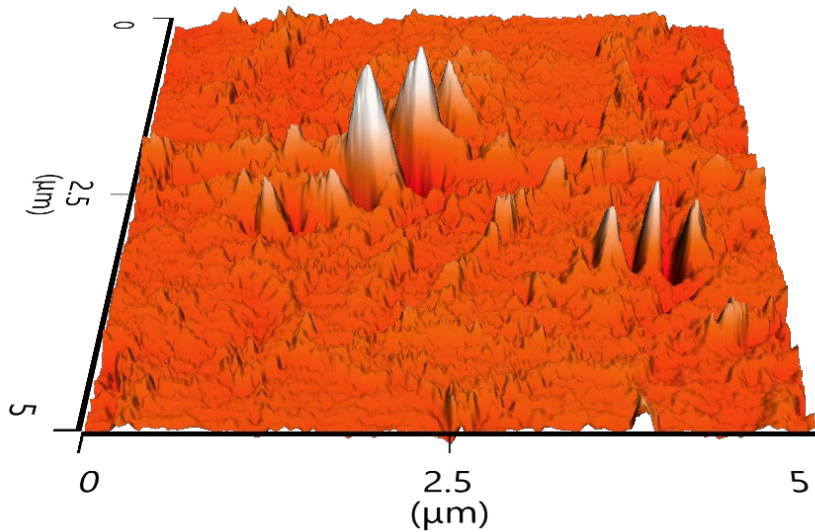
- 試料を針でなぞることで表面の凹凸や硬さなどをナノスケールでマッピング
- 赤外線を照射しながら計測することで化学特性（官能基）の分布なども計測可能

標準的なアスファルト（劣化前）の観察例

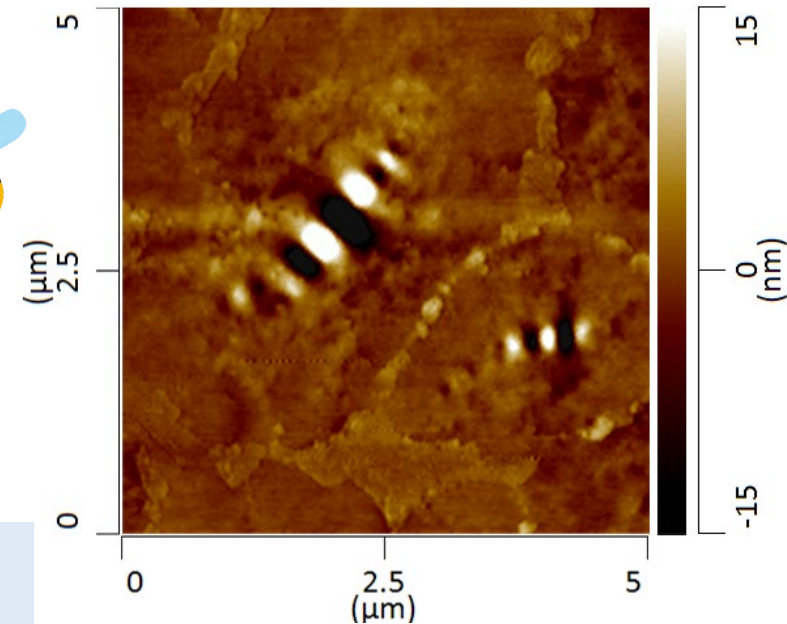
ストレートアスファルト
約1mg



● 3D形状像



● 2D形状像



bee構造、結晶成分の
熱収縮ひずみと考えられている

AFM-IRで観察したアスファルト



① 劣化前のアスファルト

標準的なストレートアスファルト



② 劣化させたアスファルト

サンプル①を室内促進劣化



③ 芳香族分系の再生用添加剤で再生したアスファルト

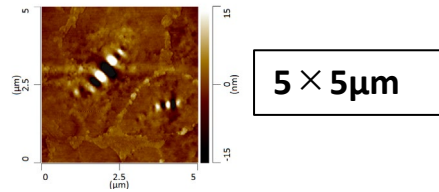
性状回復が良好



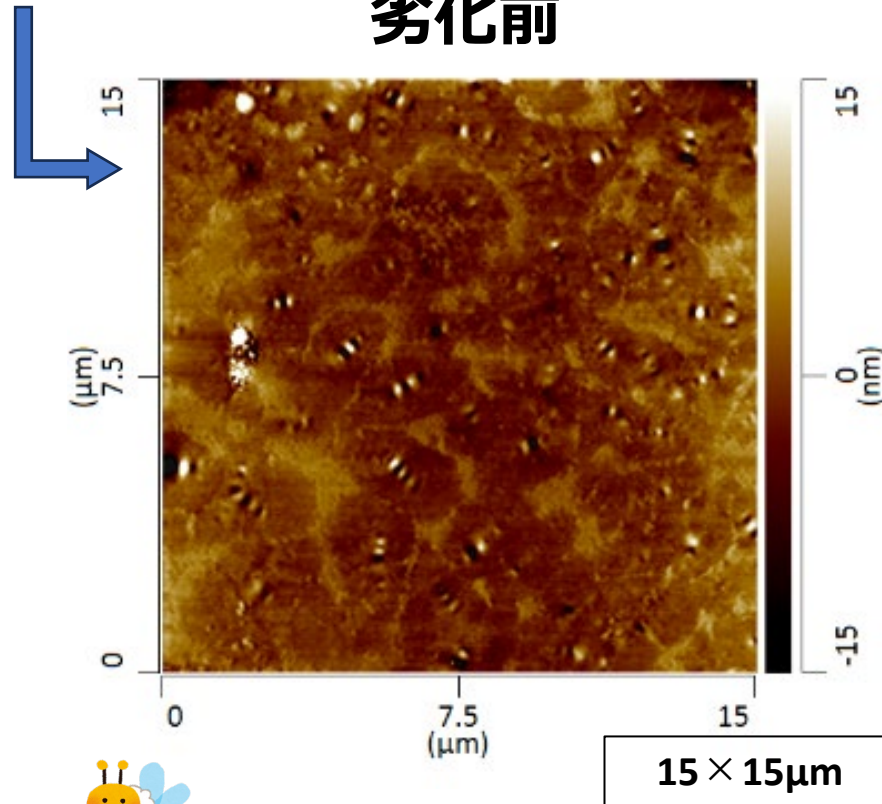
④ 飽和分系の再生用添加剤で再生したアスファルト

③と比べて性状回復が不十分

劣化による構造変化



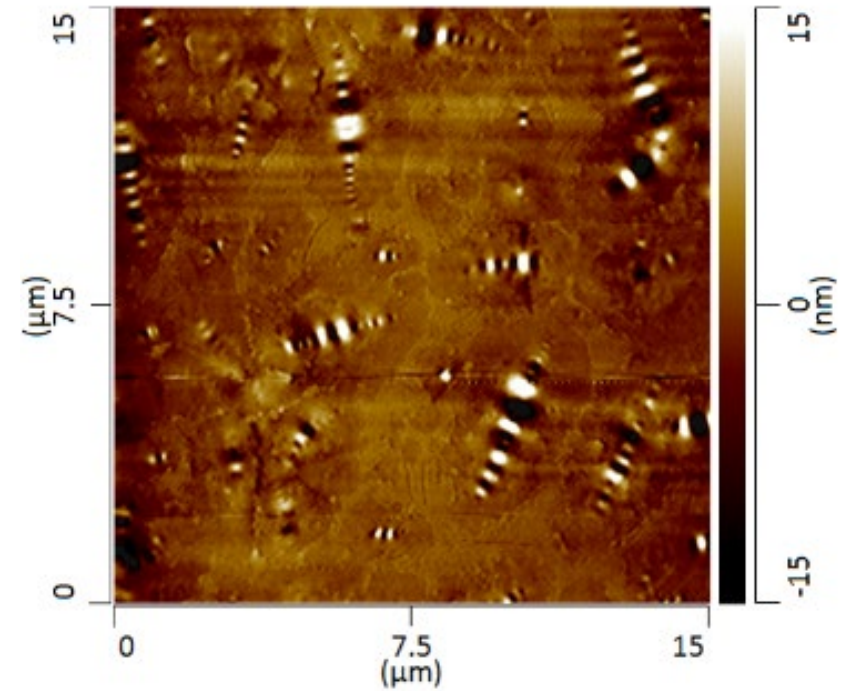
劣化前



bee構造が小さく分散



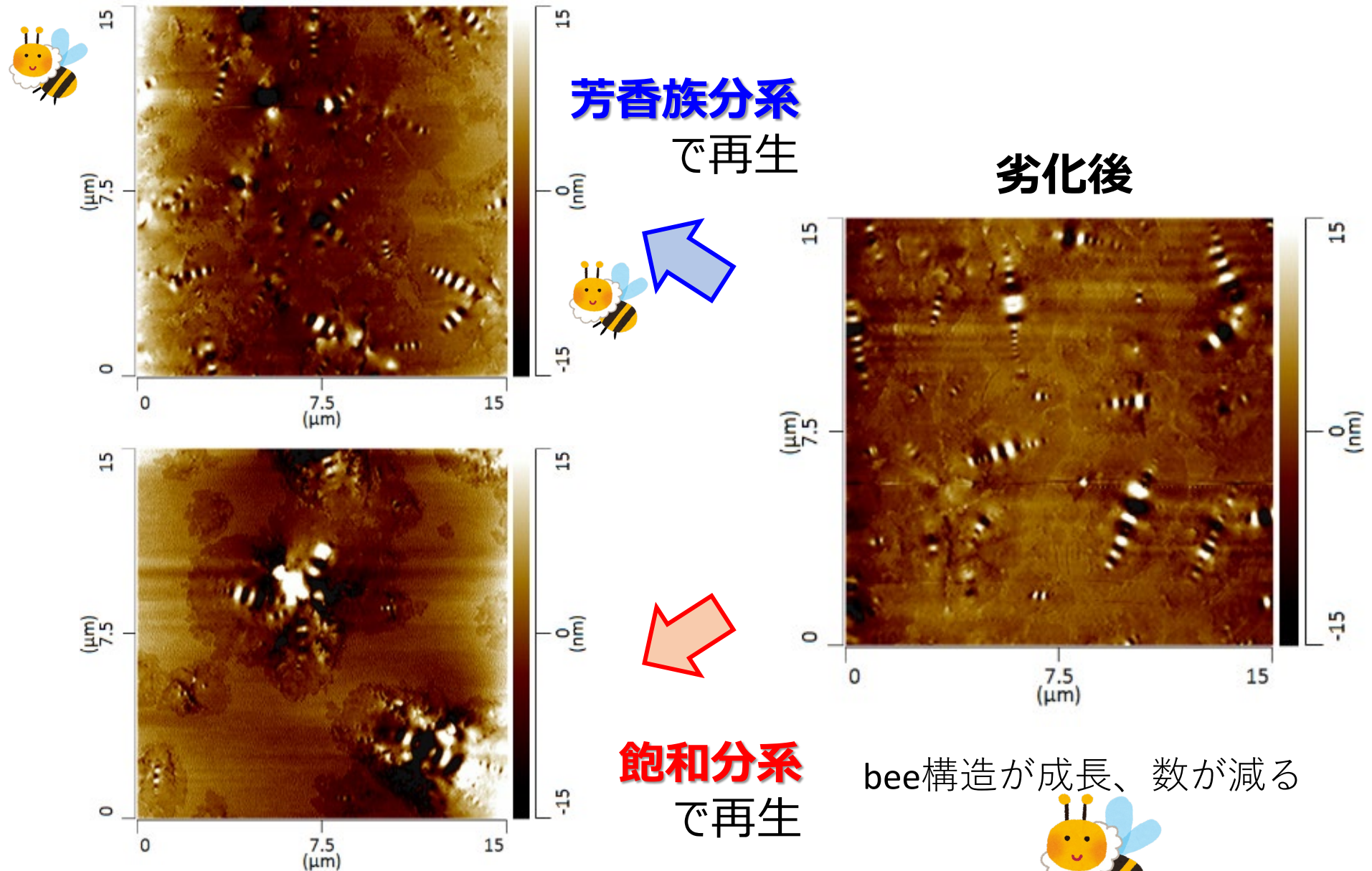
劣化後



bee構造が成長、数が減る



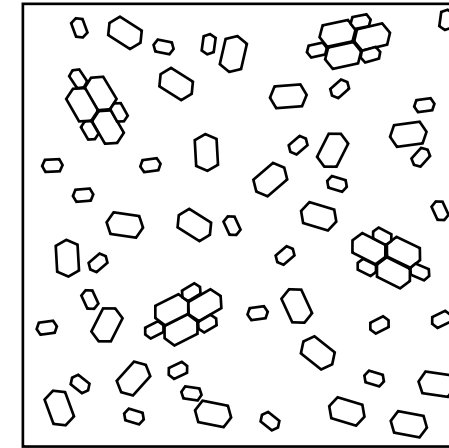
再生による変化



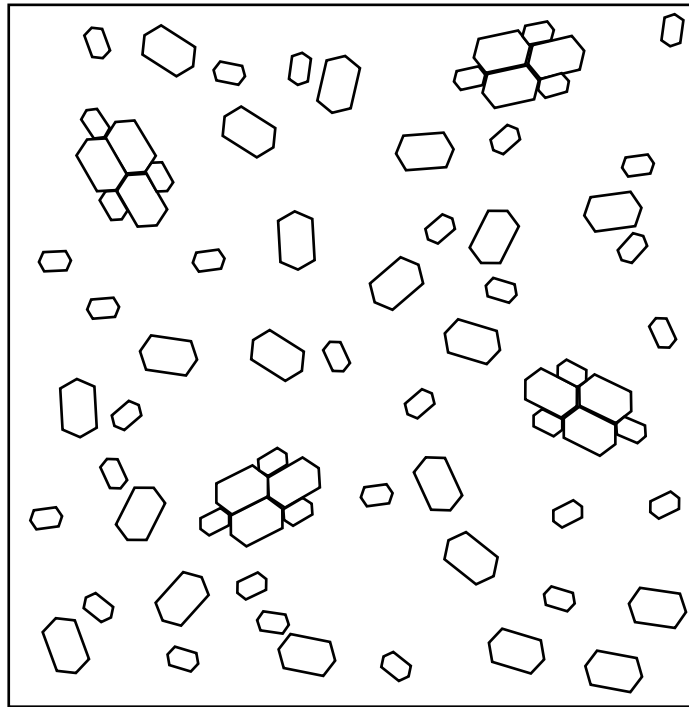
アスファルトのコロイド分散状態 仮説と観察結果

こちらが理想！

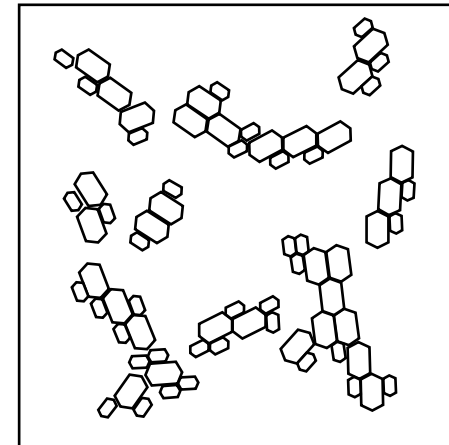
芳香族分系
で再生



劣化前



飽和分系
で再生

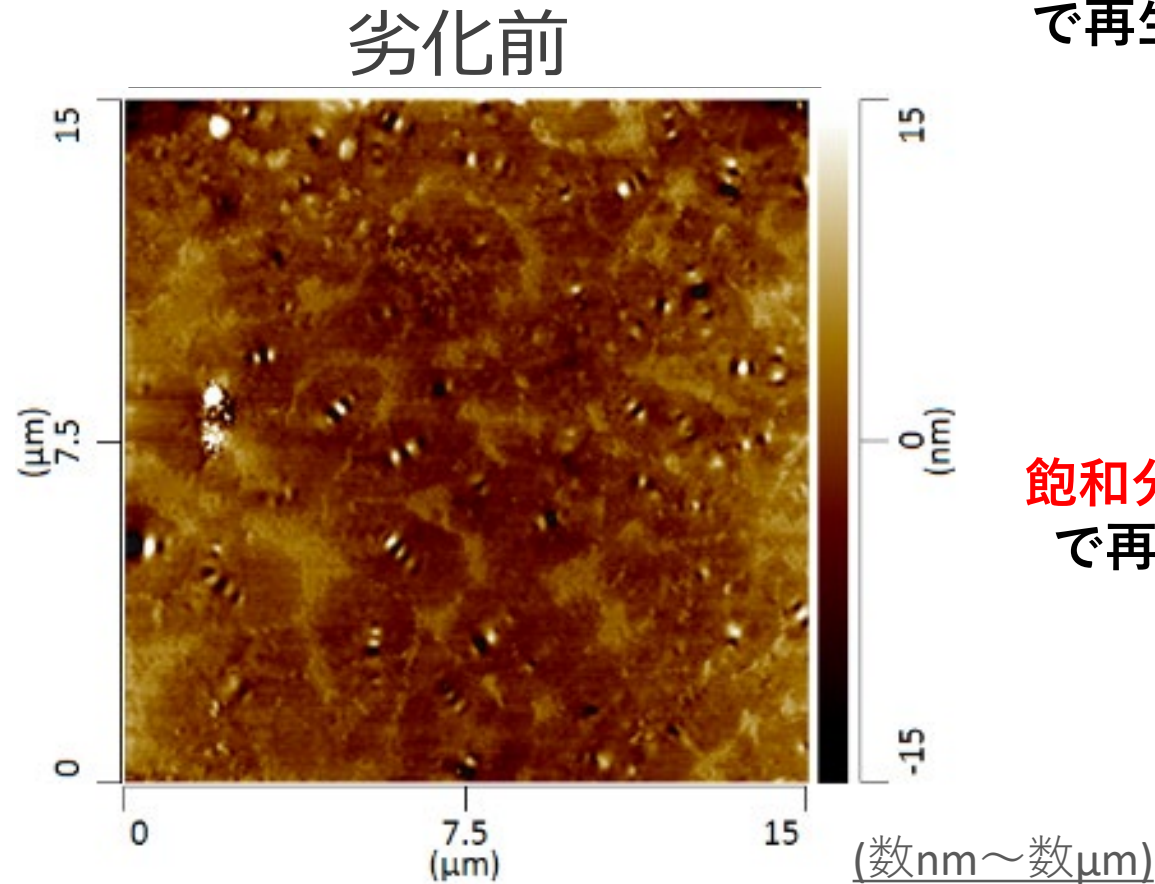


(数nm～数 μ m)

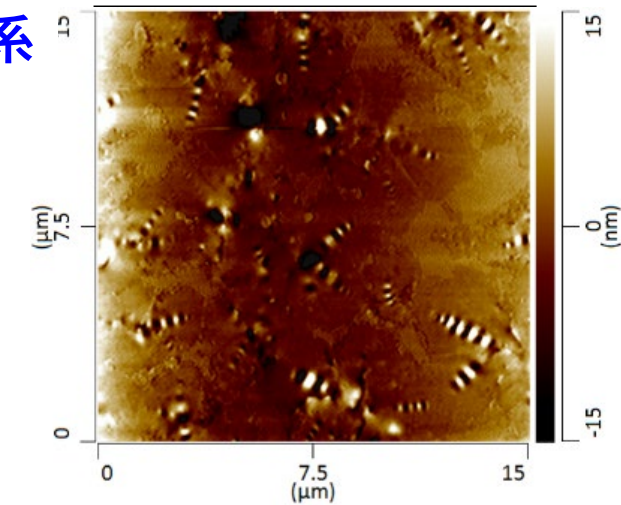
アスファルト再生の仮説を支持する像を初めて可視化！

アスファルトのコロイド分散状態 仮説と観察結果

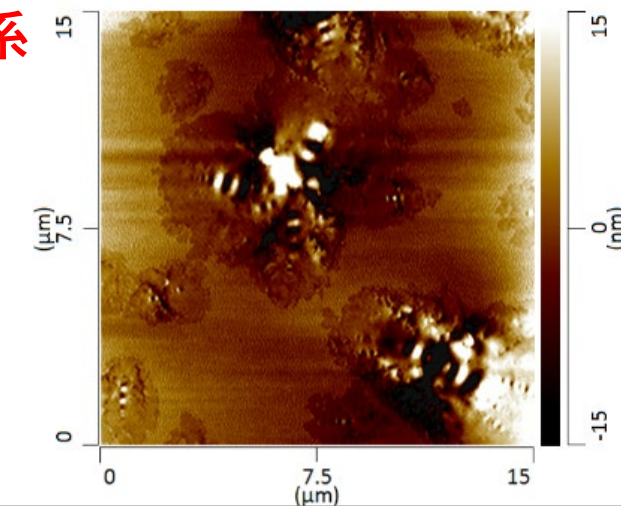
こちらが理想！



芳香族分系
で再生

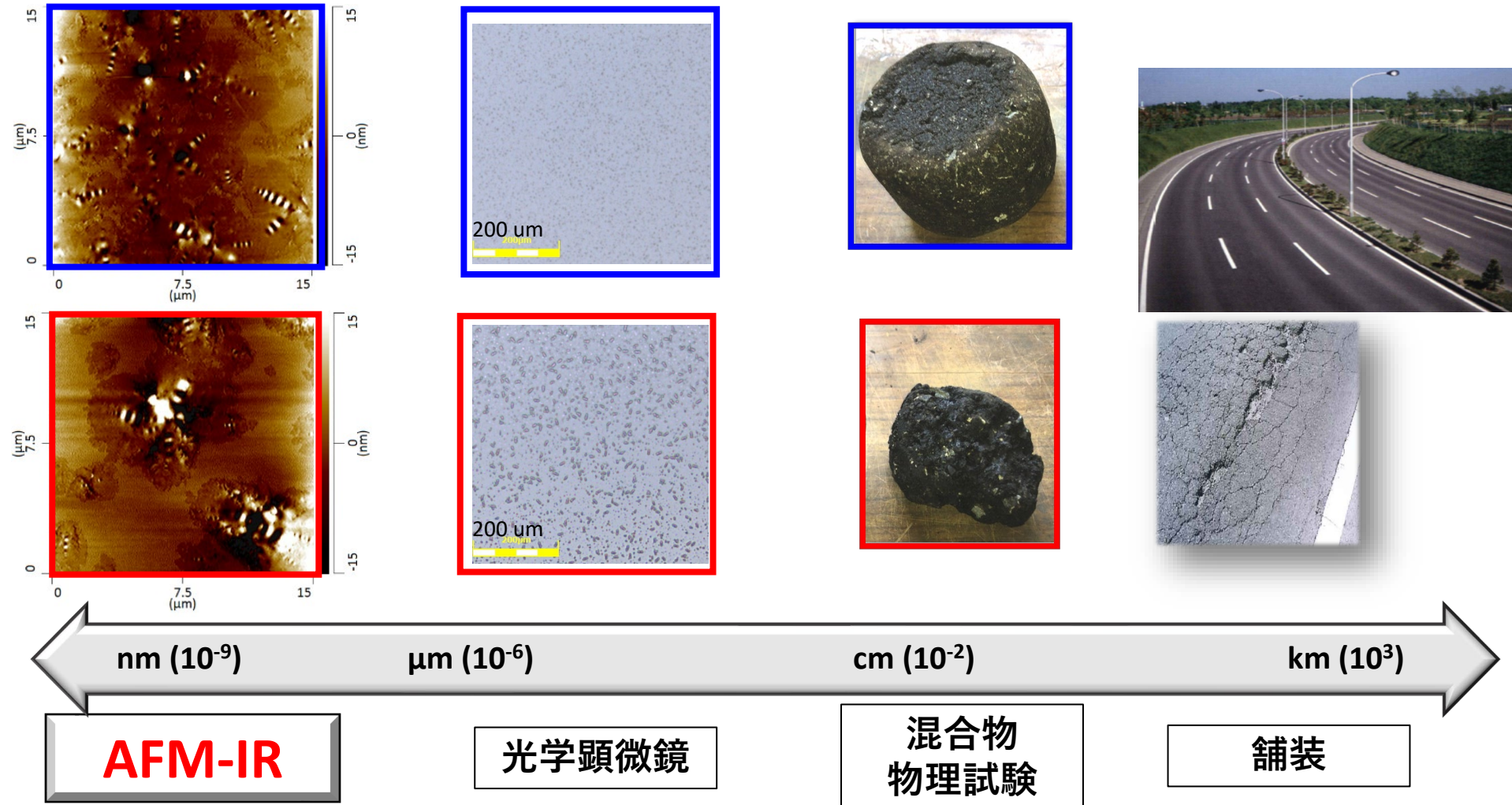


飽和分系
で再生



アスファルト再生の仮説を支持する像を初めて可視化！

アスファルト舗装再生のスケール

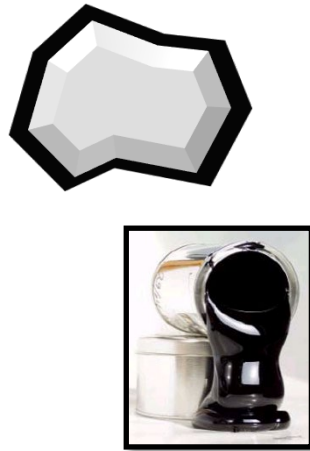


道路インフラのリサイクル最適化を 10^{12} の空間スケールで目指す！

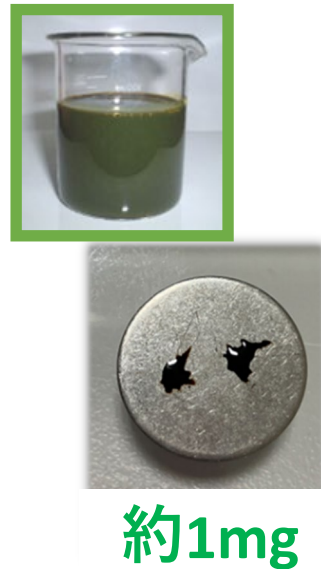
AFM-IR測定の特長

材料選定、設計にかかる労力の大幅削減・効率化が期待

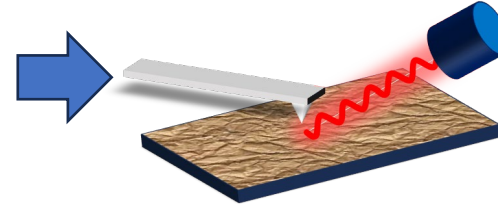
①劣化As入手



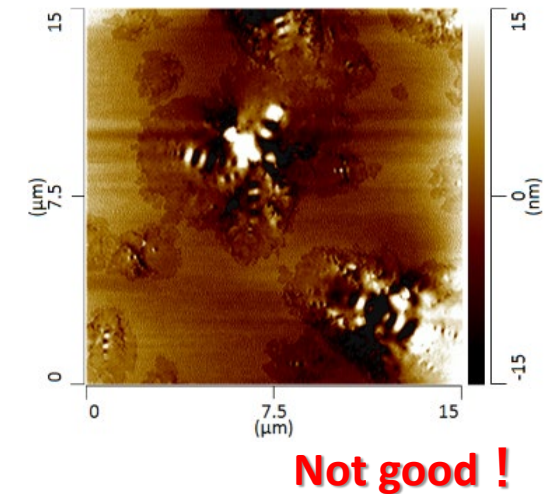
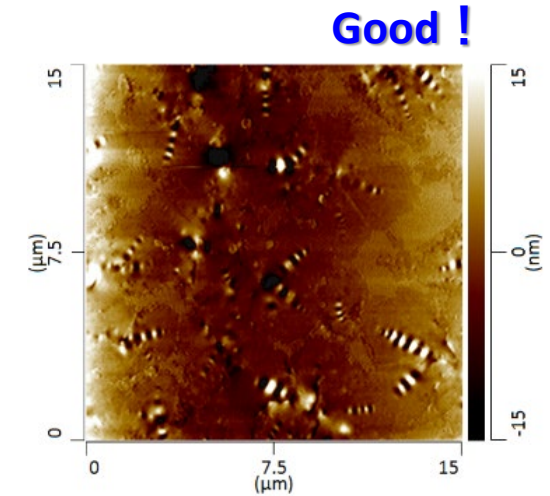
②材料調製



③AFM測定



測定時間
5~10分/回



従来評価法では大量の試料と時間が必要...

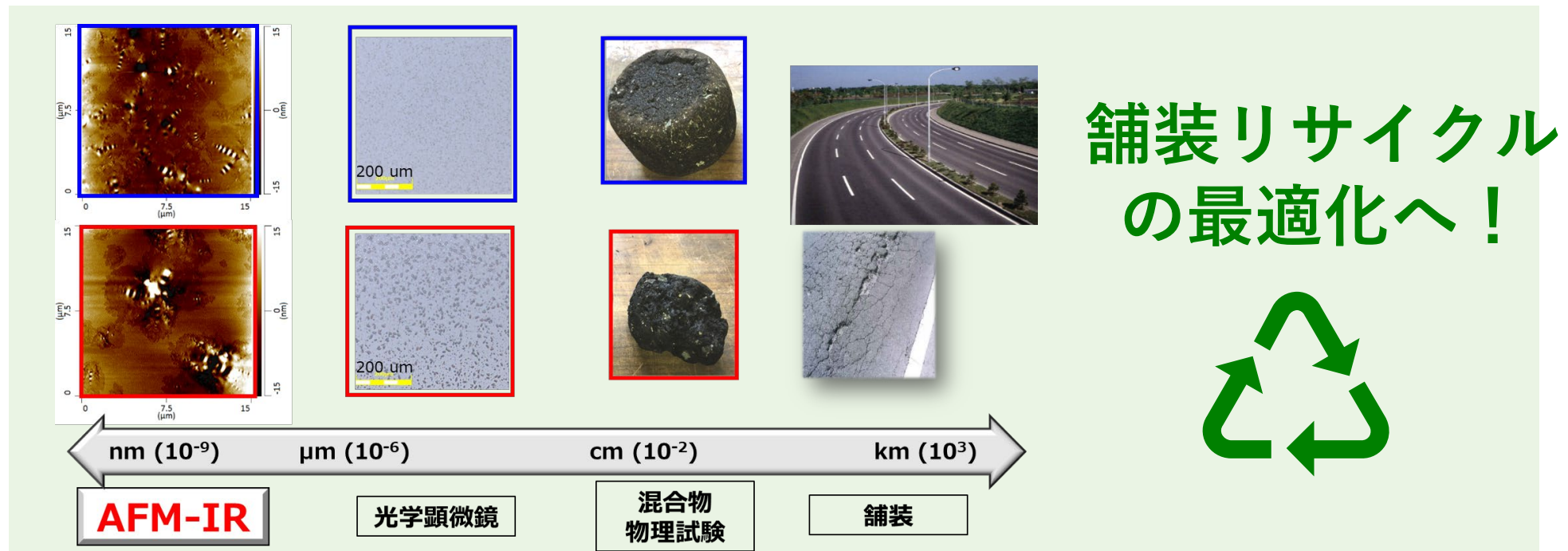
- アスファルト試験 100g以上、2~3日
- 混合物試験 1kg以上、1~2週間

まとめ

ナノスケール観察装置『AFM-IR』によって
アスファルトの劣化と再生の仮説を支持するAFM像を初めて可視化！

今後の課題

- ・ ナノスケールとマクロの結び付け 画像評価の定量化、物理試験との相関
- ・ 社会構造変化に対応した検討 繰返し再生、ポリマー、etc...



材料資源研究グループ 先端材料・高度化

	百武 壮 上席	総括 舗装材料 コンクリート補修 機能材料 ゴム材料		富山 禎仁 特命上席	鋼材防食 下水防食 塗料 ケミカルアンカー
	佐々木 厳 総括主研	舗装の水浸破損対策 アスファルト代替材 料 コンクリート補修		船山 真里 研究員	鋼材防食
	島袋 智尋 研究員	下水防食 トンネル補修		大屋 貴生 交流研	コンクリート補修 鉄筋防食 鋼材防食
	安藤 秀行 交流研	アスファルト再生 (改質、AFM)		タンダー 専門研	鋼矢板 耐候性鋼材
	チャンタ ンニヤツ ト 交流研	アスファルト再生 (中温化)		川島 陽子 副参事	※所内管理部門に 出向中

1. 新田弘之, 田湯文将, 川島陽子, 川上篤史: 繰り返し再生したアスファルトの性状における再生用添加剤の組成の影響, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.75, No.1, pp.59-67, 2019.
2. 川上篤史, 新田弘之, 藪雅行, 掛札さくら, 川島陽子: 繰り返し再生したアスファルト混合物への再生用添加剤と再生骨材配合率の影響, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), vol.76, No.2, I_251-I_259, 2020.
3. 掛札さくら, 川上篤史, 藪雅行, 新田弘之, 山本富業: 実大促進載荷試験による再生アスファルト混合物のひび割れ抵抗性の検証, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.78, No.2, I_58-I_63, 2023.
4. 安藤秀行, 百武壮, 佐々木巖, 川島陽子, 新田弘之: AFM-IRを用いたアスファルトのナノスケールイメージングへの試み, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.80, No.21, 24-21013, 2024.
5. 塚越徹, 田中正義, 佐々木巖, 新田弘之, 坂本浩行: 舗装用アスファルトの粘弾性状と混合物の流動特性に関する実験, 土木学会第50回年次学術講演会, V-276, pp.552-553, 1995.
6. 掛札さくら, 川上篤史, 藪雅行, 新田弘之, 山本富業: 再生アスファルト混合物の高温時のひび割れ抵抗性の評価方法, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.77, No.2 (舗装工学論文集第26巻), I_11-I_19, 2021.