

「SPring-8供用開始10周年記念産業利用講演会」

ゴム業界からみたSPring-8

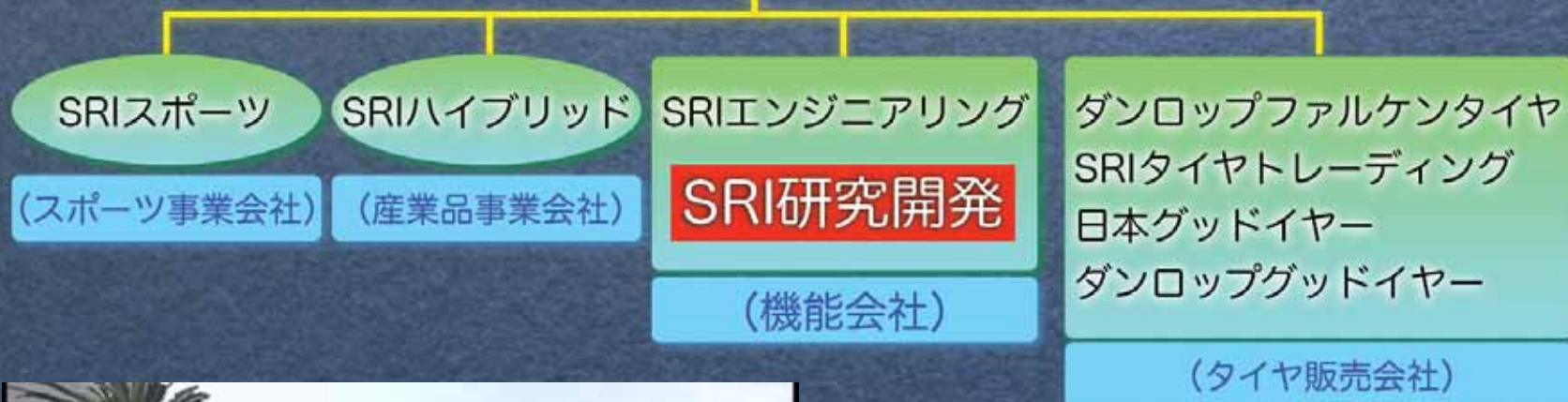
SRI研究開発(株)
材料プロセス研究部
溝口 哲朗



住友ゴムグループ

住友ゴム工業

(グループ統括) (タイヤ事業会社)



所在地: 神戸市中央区筒井町2丁目1番1号
(住友ゴム工業・技研センター内)

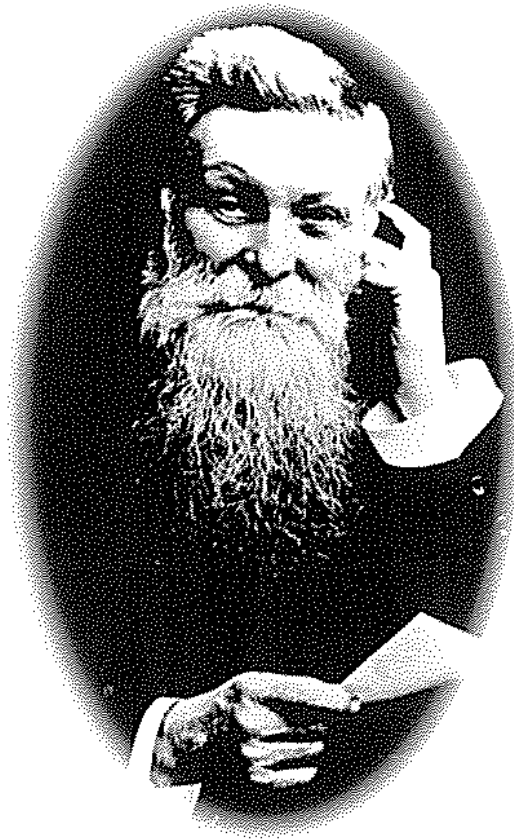
設立: 2003年7月1日

事業内容:

- ・住友ゴムグループ各社からの受託研究
- ・基礎・シーズ・提案研究

住友ゴムグループの沿革

- 1909年 英国Dunlop社によるDunlop Rubber Co.(Far East)の設立(我が国初の近代的ゴム工場として創業)
- 1913年 自動車用タイヤの生産
- 1930年 ゴルフボール、硬式テニスボールの生産
- 1963年 住友ゴム工業株式会社に社名変更
- 1966年 ラジアルタイヤの生産

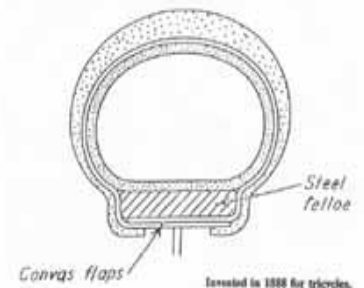


J.B. Dunlop



J.B. DUNLOP (1888)

(British Patent #10,607)





住友ゴム工業株式会社
SUMITOMO RUBBER INDUSTRIES, LTD.



Go for Value
住友ゴムグループ

SRI スポーツ

SRIハイブリッド

住友ゴム・Dunlopの低燃費・エコタイヤ

住友ゴムグループ



**ECORUT
SP678**

2007年発売
ころがり抵抗38%低減
(SP660比)



2004年発売
デジタイヤECO
EC201

天然ゴム含有量アップ
天然素材シリカ採用



2006年発売
**ENASAVE
ES801**

70%石油外資源使用
ころがり抵抗30%低減
(EC201比)



2008年3月発売予定

97%石油外天然資源タイヤ
ENASAVE 97
エナセーブ キュウジュウナナ

97%石油外天然資源使用
ころがり抵抗35%低減
(EC201比)

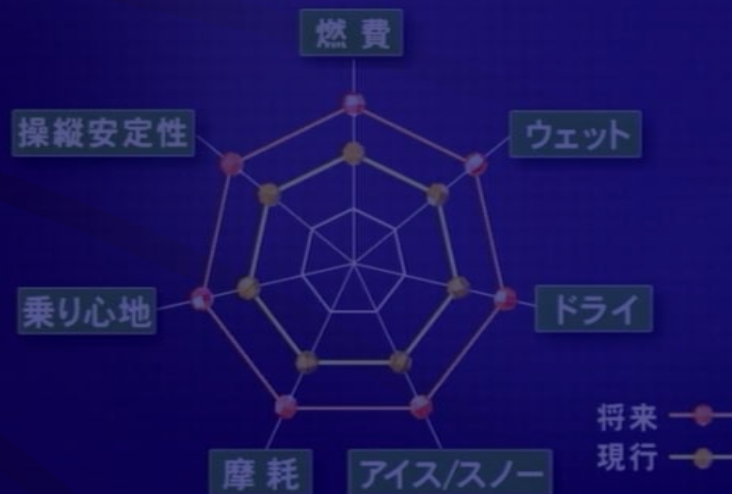
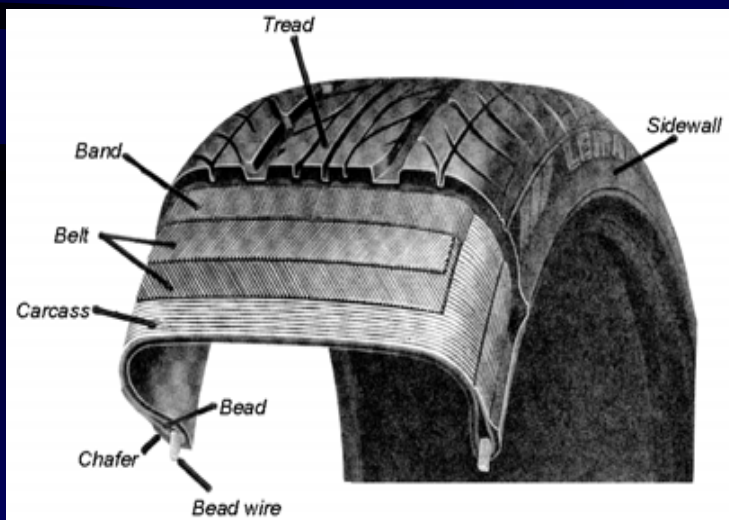
タイヤの構造・要求特性・重要技術課題



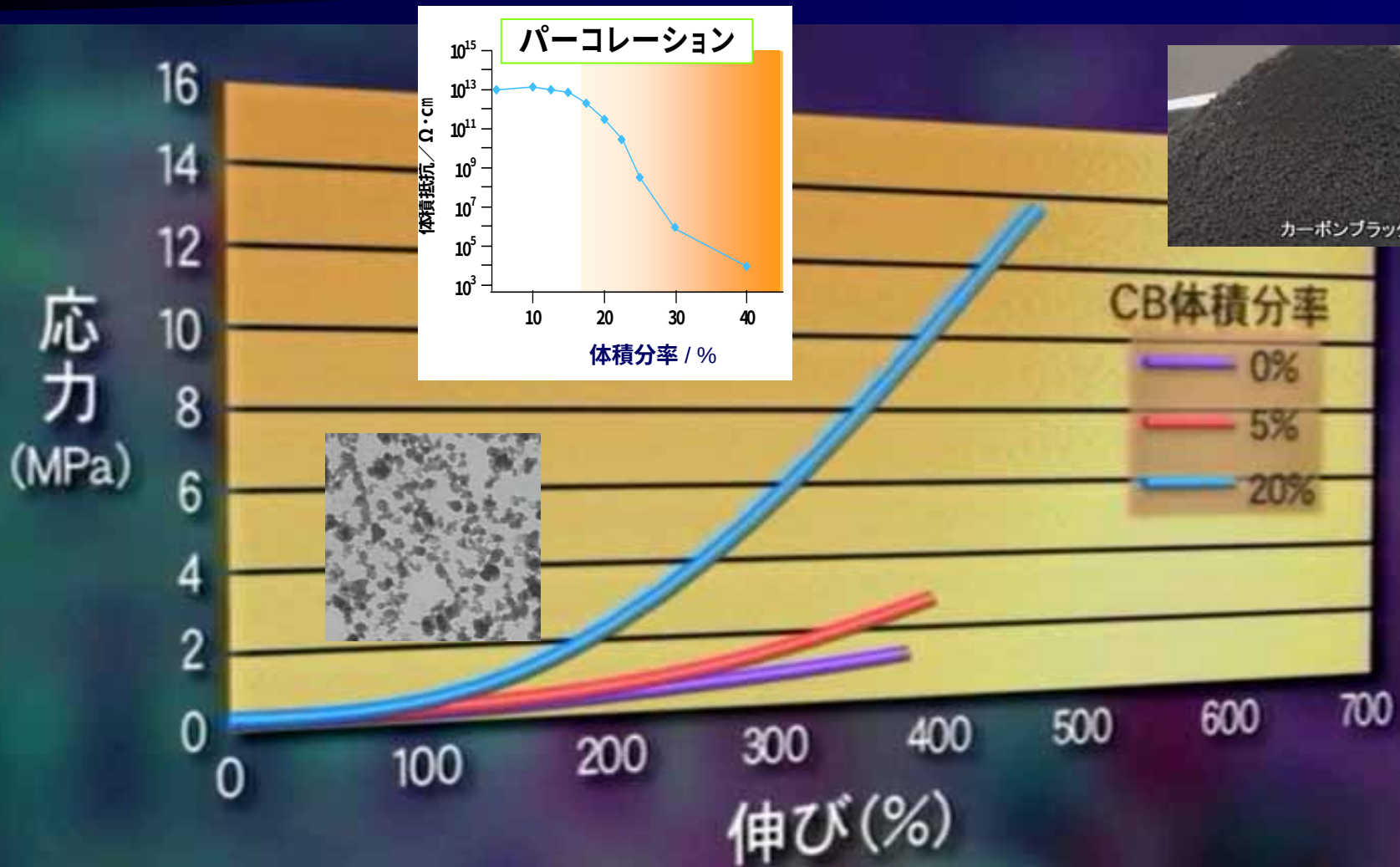
タイヤへの要求性能

複数性能の高度なバランス

安全性能(グリップ・操縦安定性)と
環境性能(燃費・耐磨耗性)の両立

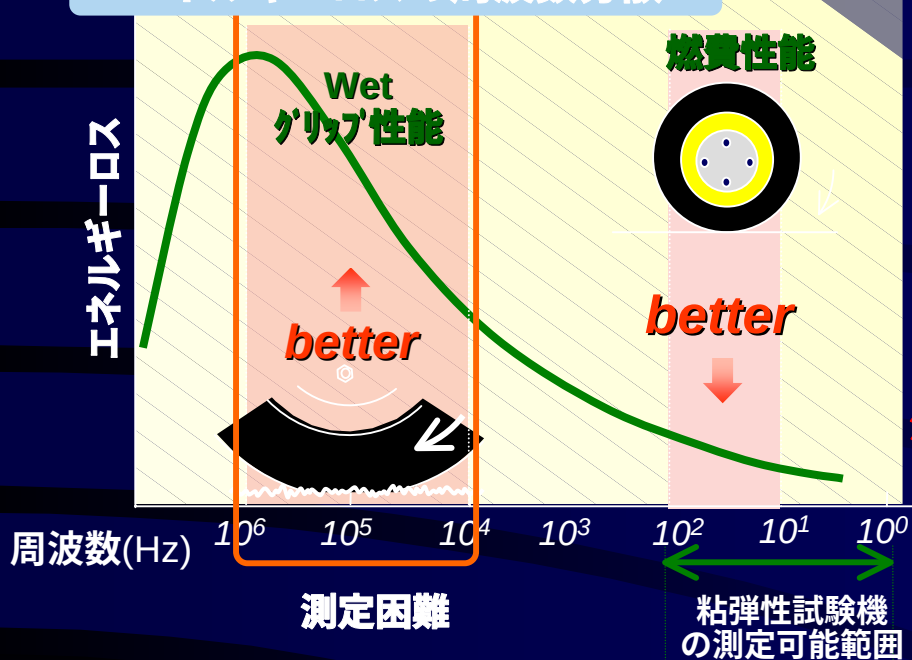


ナノフィラー混合により実用となるゴム材料

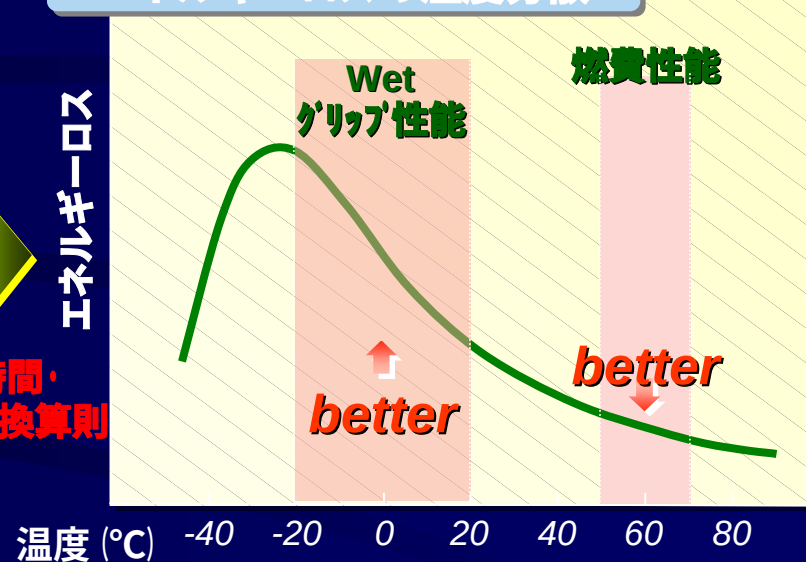


グリップと燃費性能両立に向けた技術課題

エネルギーロスの周波数分散



エネルギーロスの温度分散



エネルギーロスの起源?

接地部ゴムの歪の大きさ・歪速度?

高補強性と低エネルギーロスの両立?

ナノフィラー充填ゴムの構造? 動的歪下での構造変化?

企業内研究では解明できない → SPring-8等の大型研究施設の利用

当社のSPring-8の活用事例

nm

μ m

mm

1. フィラー補強ゴムの構造解析

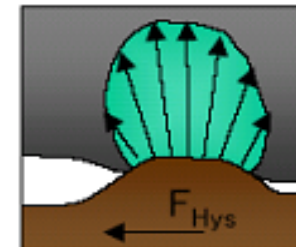
USAXS-SAXS-WAXS



2. 摩擦・磨耗解析

μ CT

ヒステリシス摩擦

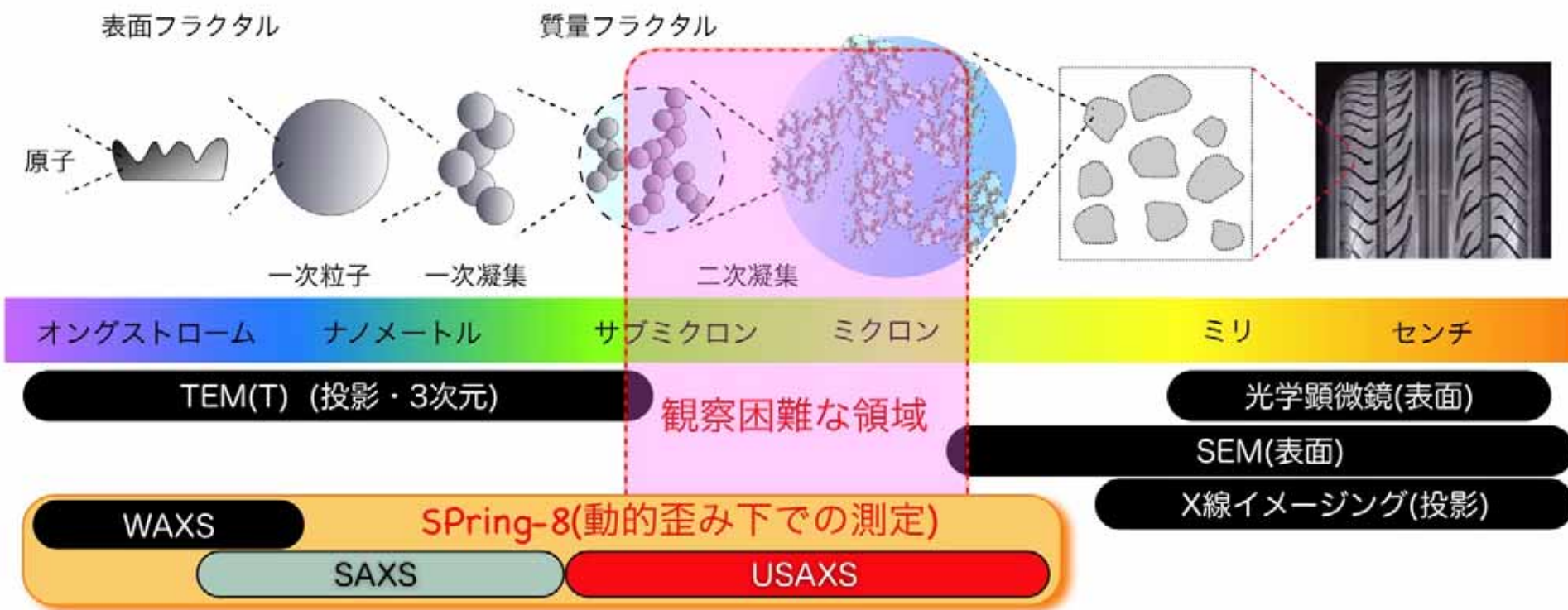


ゴムのヒスロス

【表面粗さ】

【ゴム変形性】

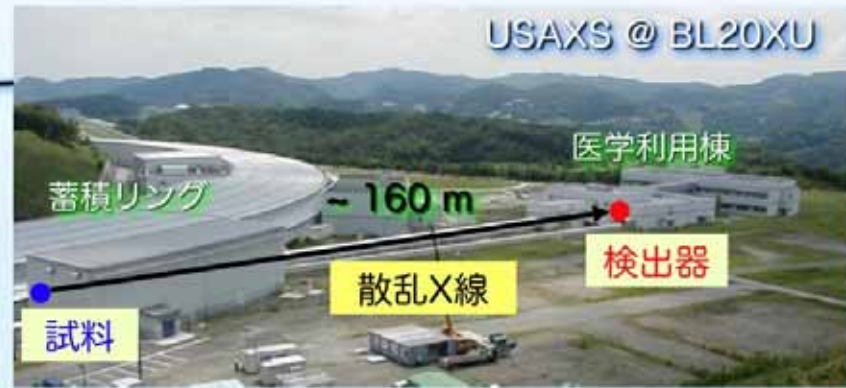
ゴム中のナノフィラーの階層的構造



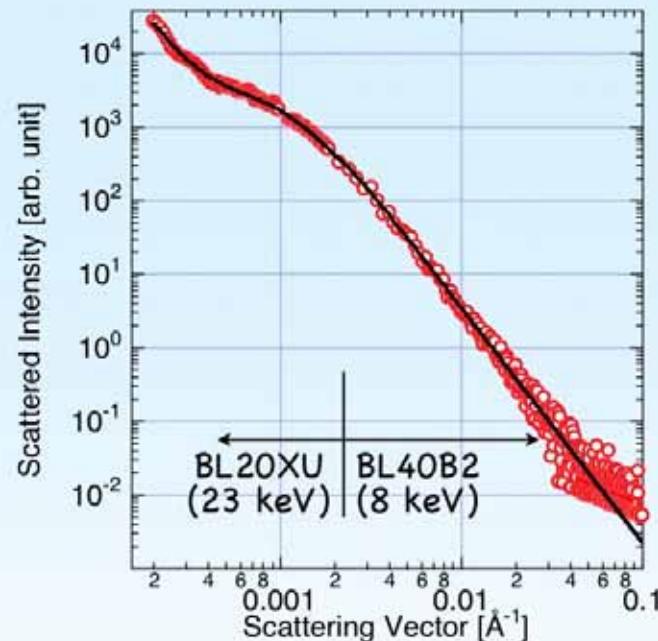
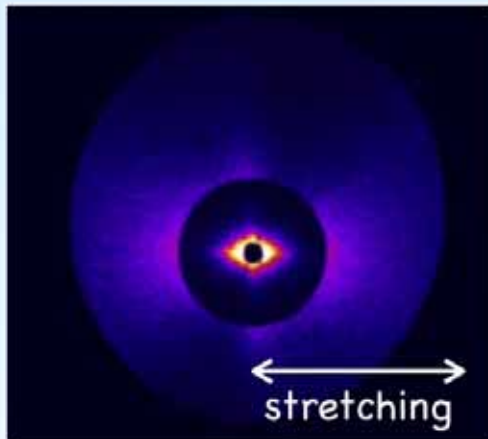
SPring-8放射光の利点

- ・不透明な試料でも測定可能
- ・時分割 (msオーダー) 測定可能→動的歪み下での構造解析が可能
- ・幅広いレンジ・空間スケールの構造解析が可能

時分割二次元極小角・小角散乱(2D-USAXS-SAXS)



2D-USAXS像

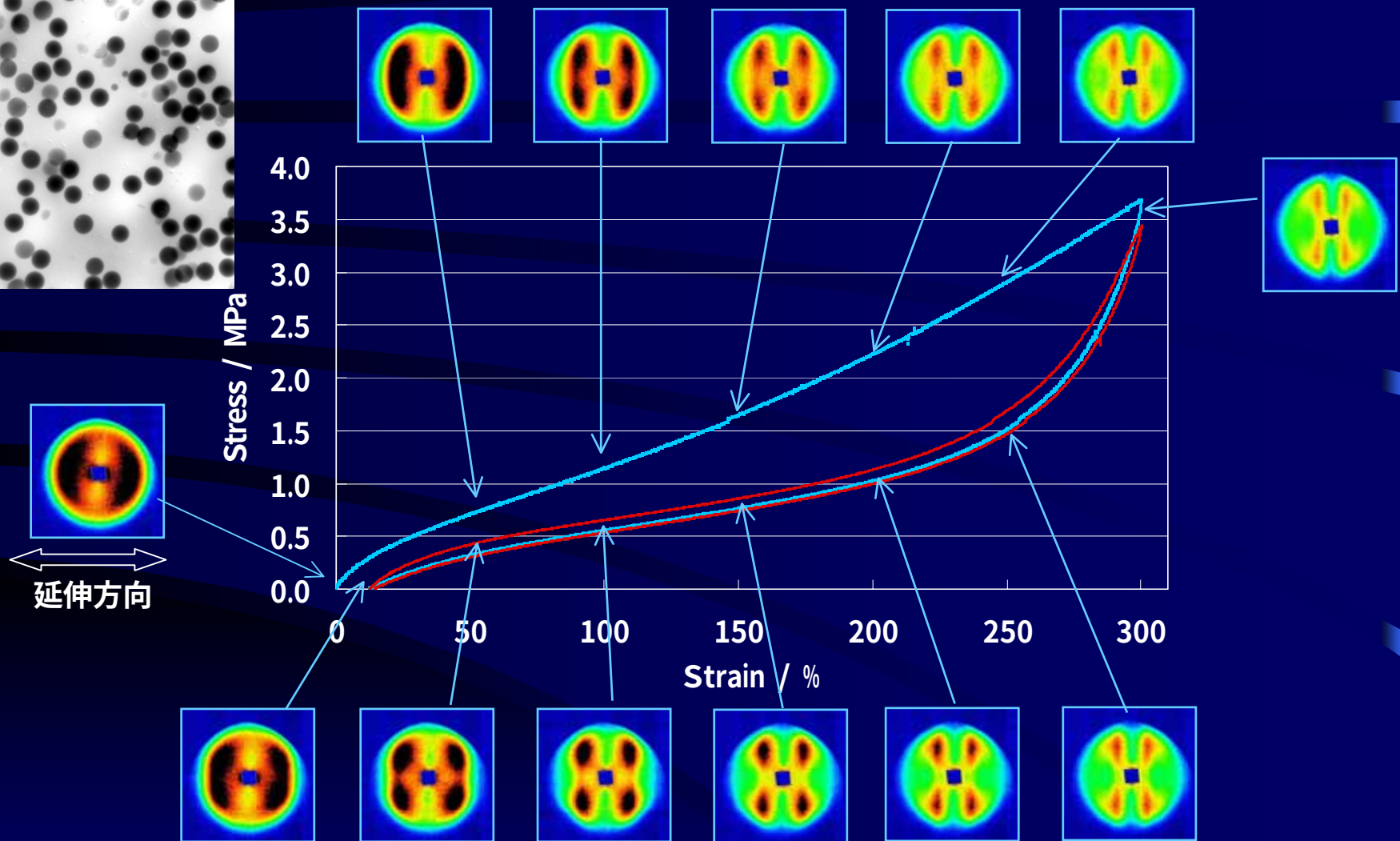
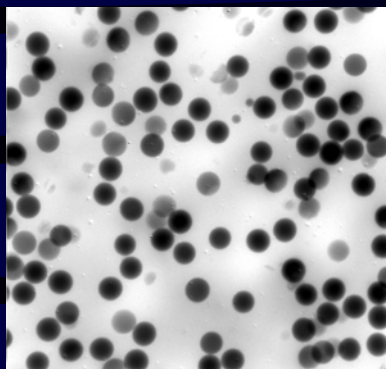


時分割間隔：数100 ms

測定範囲： $5 \mu\text{m} > d > 0.6 \text{ nm}$

(ラボの小角散乱装置： $d < 60 \text{ nm}$)

- 282nm単分散シリカ配合ゴム($\phi=0.2$)
- 1st 延伸・除荷過程

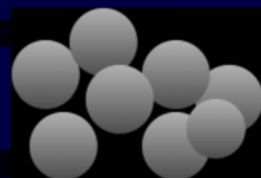


兵庫県地域結集型共同研究事業「ナノ粒子コンポジット材料の基盤研究」

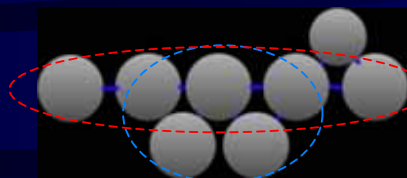
極小角-小角X線散乱 (USAXS-SAXS)

延伸過程

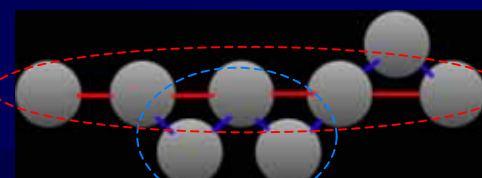
除荷過程



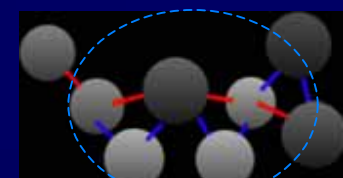
ランダム構造



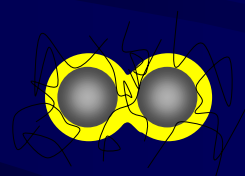
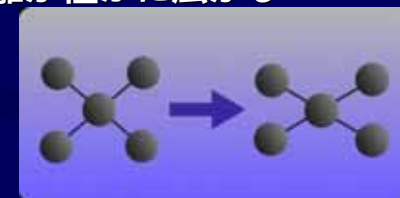
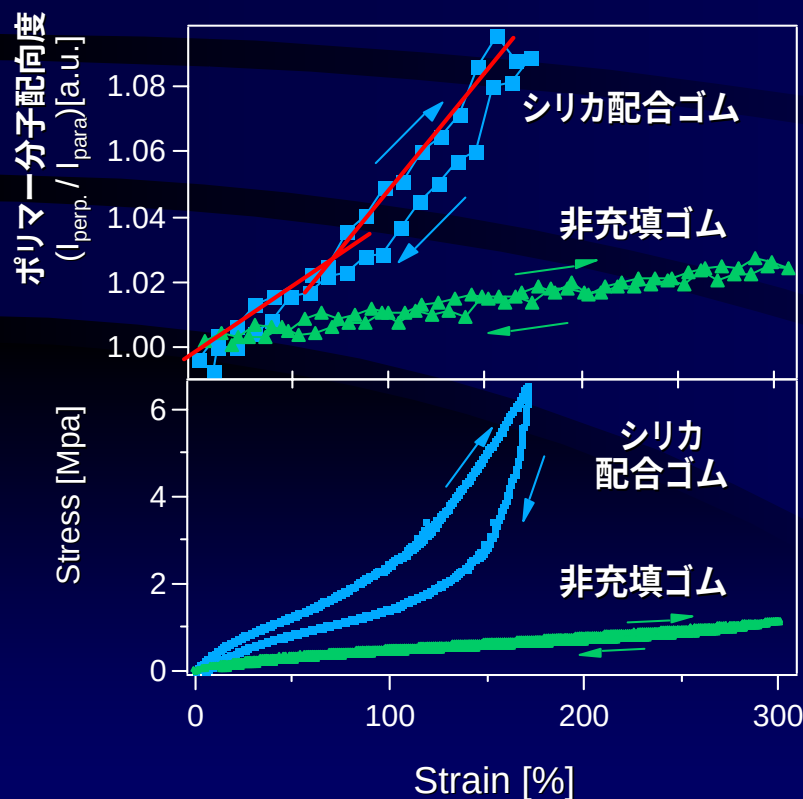
ジグザク構造



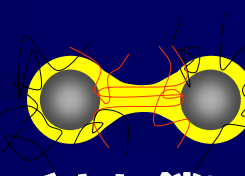
パンタグラフのような動き
フィラー間距離が僅かに広がる



広角X線散乱 (WAXS)

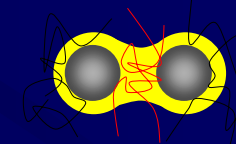


loading



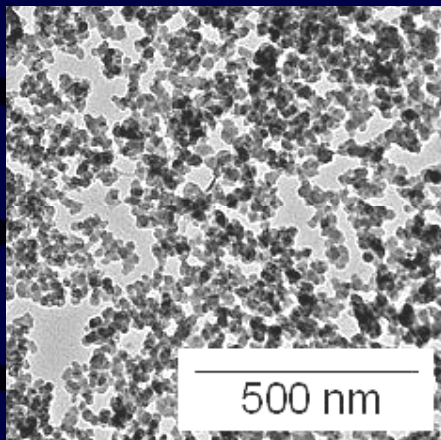
伸びきり鎖による
応力増大

unloading

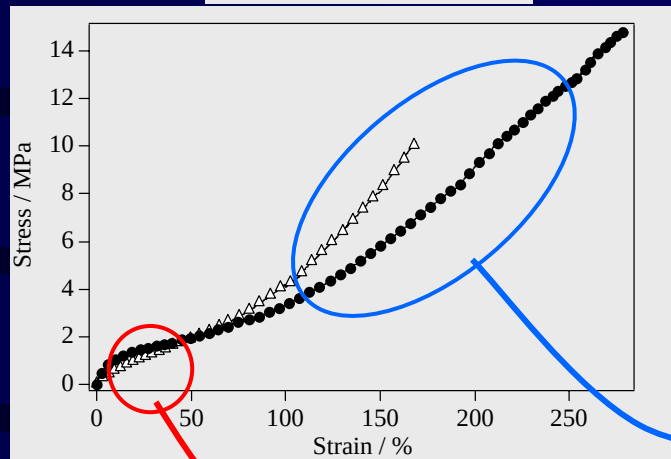


ナノフィラーによるゴムの補強機構

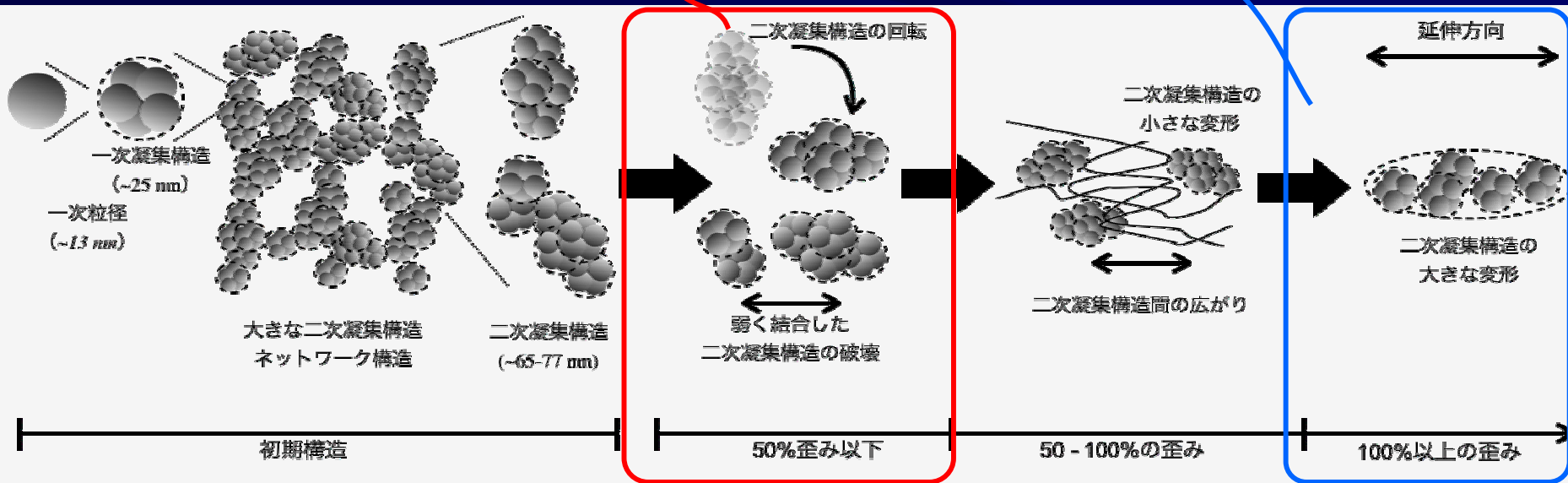
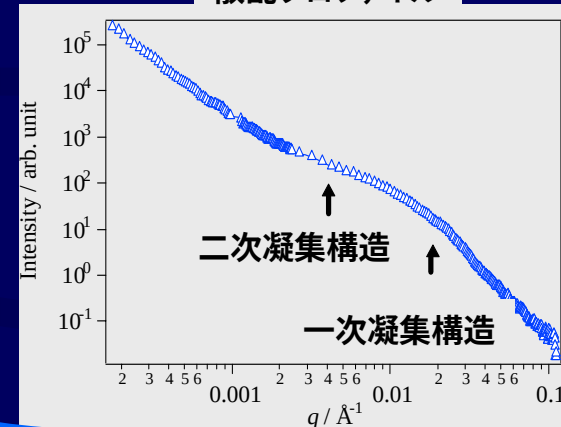
延伸によるシリカ凝集構造の変化



応力・歪曲線



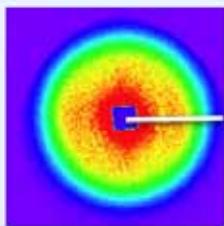
散乱プロファイル



◆ 1D-RMC

- ・ 非晶質材料の構造解析が可能
- ・ WAXS, SAXS, SANS, XAFS等の全てのデータを利用可能

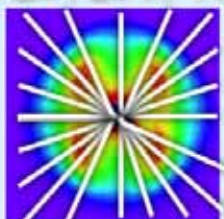
等方的散乱



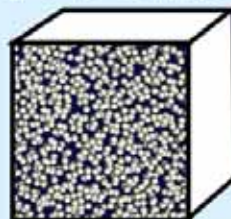
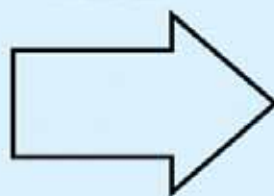
1次元データのみ解析すればよい

↓
PCで解析可能

◆ 2D pattern RMCの開発 ・ 2D-USAXS-SAXSへの対応

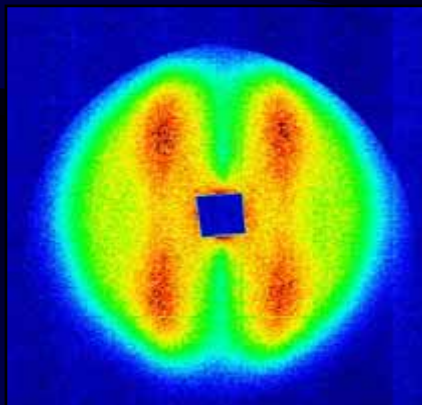


2次元データを解析する必要性



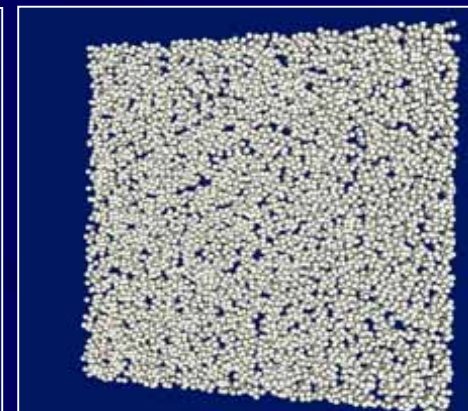
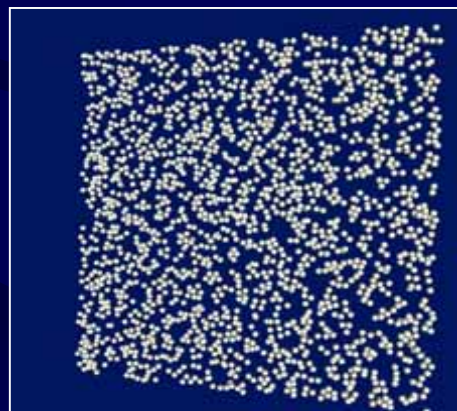
3次元構造モデル

2D-USAXS像



フィラーの空間立体配置の決定

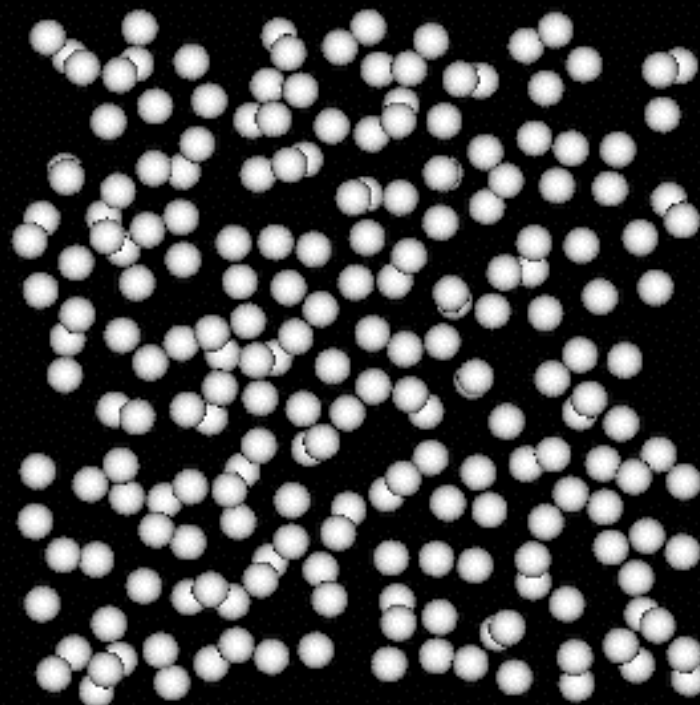
大規模計算
(2D-RMC)



地球シミュレータを用いた実空間でのフィラー構造解析
(文科省 大型研究施設戦略活用プログラム)

RMCを用いた延伸過程におけるフィラー構造変化

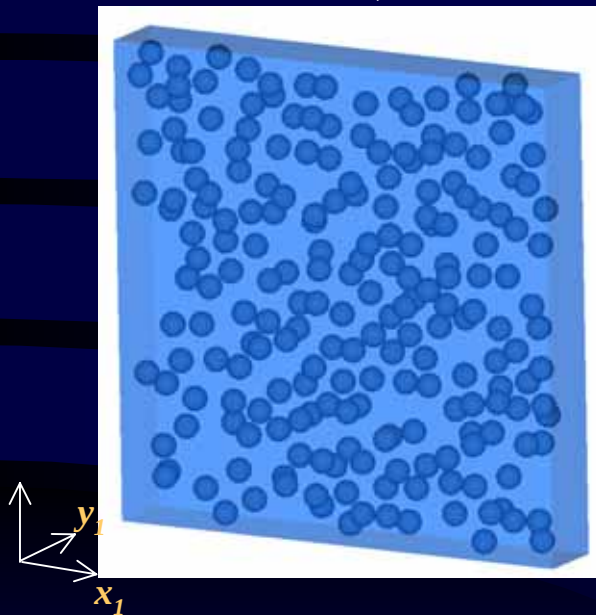
0 → 150% 延伸過程



FEMシミュレーションの初期構造モデルへの展開

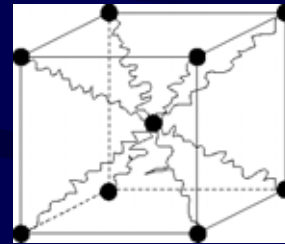
ポリマーとフィラーの2相モデル

FEMモデル



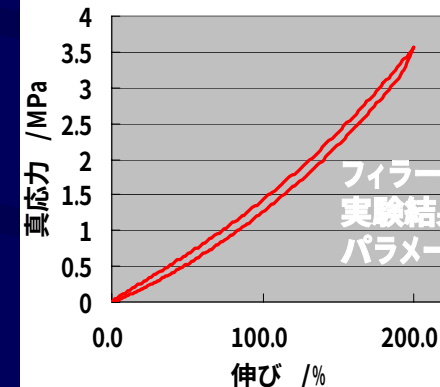
x_1 方向にひずみ1.0負荷後、除荷
平均ひずみ速度0.059

○ポリマー：超弾性+粘弾性モデル



Arruda-Boyceモデル
(1993)

応力-ひずみ関係



フィラー
実験結果
パラメー
同定

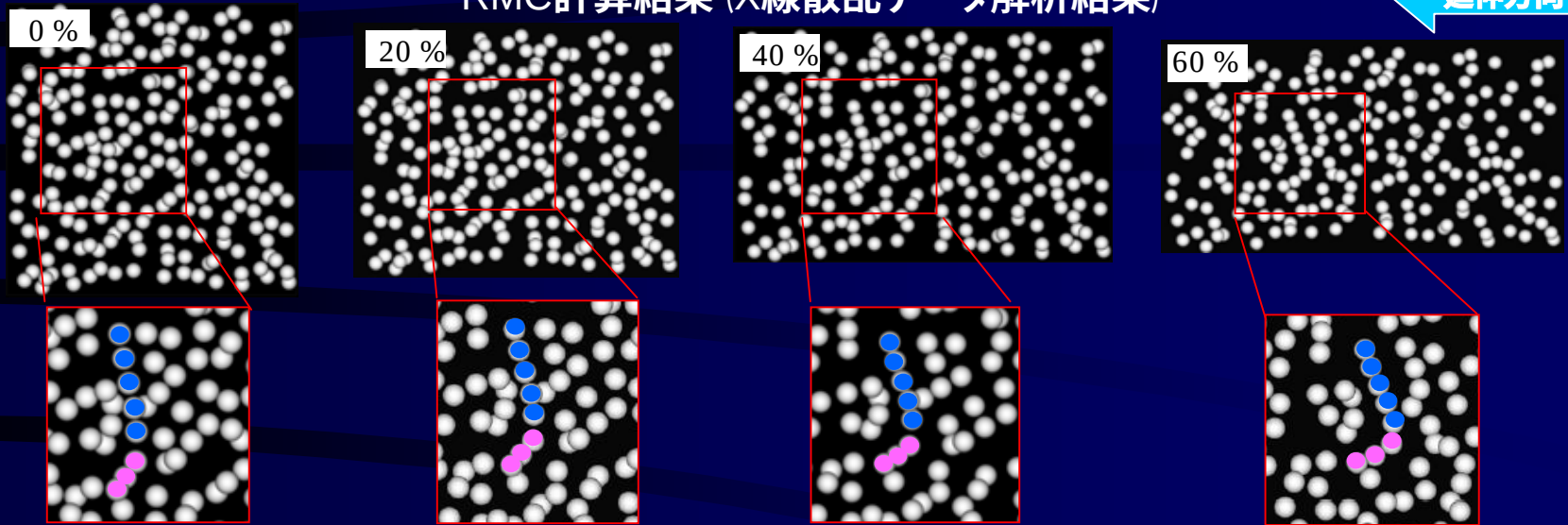
○フィラー：弾性体モデル (ゴムの1000倍の弾性率)

※ポリマー/フィラー界面は結合
周期境界条件を適用

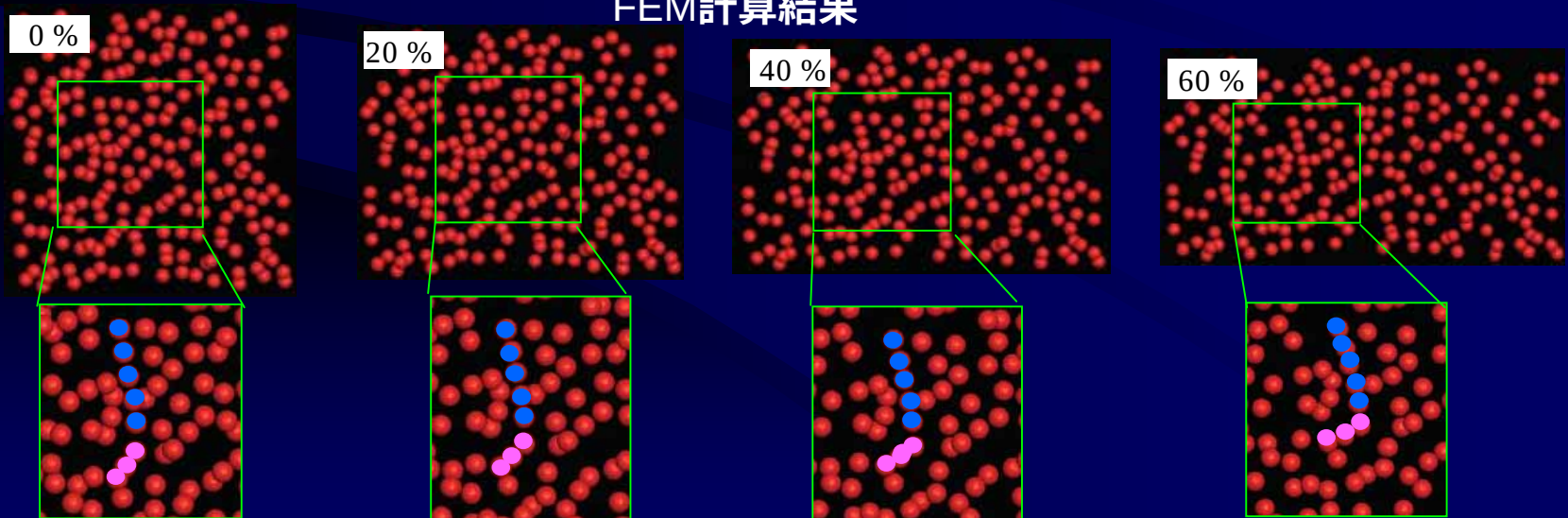
FEMシミュレーション結果とRMC計算結果の比較

RMC計算結果 (X線散乱データ解析結果)

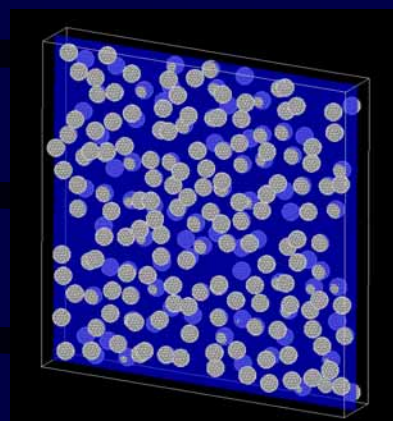
延伸方向



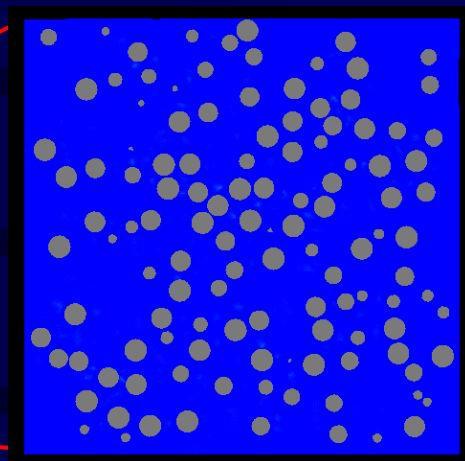
FEM計算結果



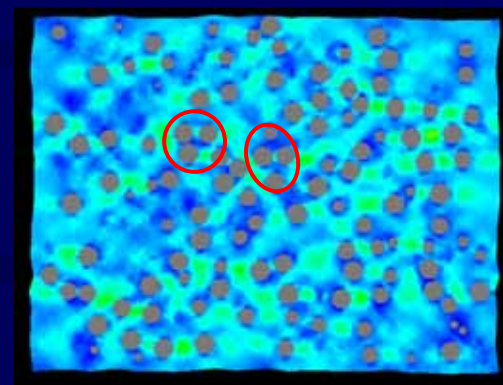
断面の引っ張り方向ひずみ分布 (FEMシミュレーション)



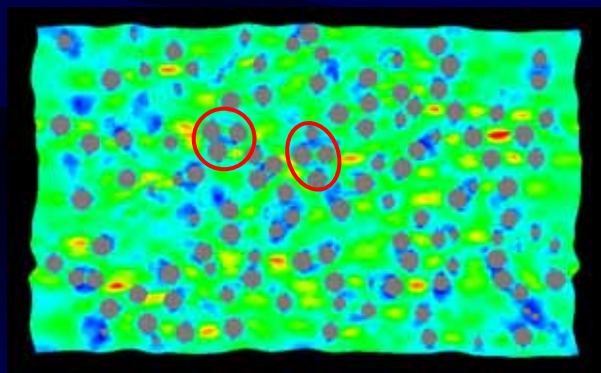
厚み方向中心断面



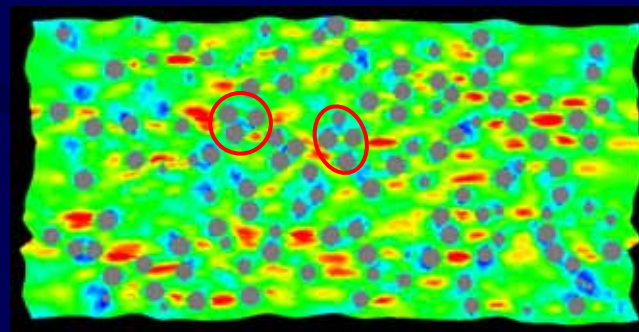
ひずみ0%



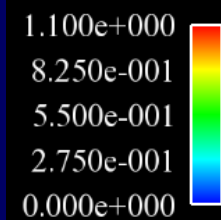
ひずみ20%



ひずみ40%



ひずみ60%



ころがり抵抗と燃費・地球環境への寄与

構造・機構解析

(Computer Aided Analysis)

構造制御技術

(3次元階層構造・界面構造)

ころがり抵抗 **50 %** 低減

燃費に換算すると

約 **10 %** 向上

言い換えると

走行時のCO₂約 **10 %** 削減

当社のSPring-8の活用事例

nm

μm

mm

1. フィラー補強ゴムの構造解析

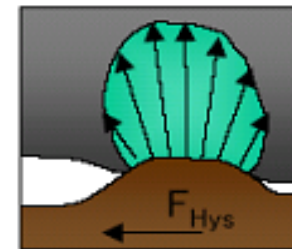
USAXS-SAXS-WAXS



2. 摩擦・磨耗解析

μCT

ヒステリシス摩擦

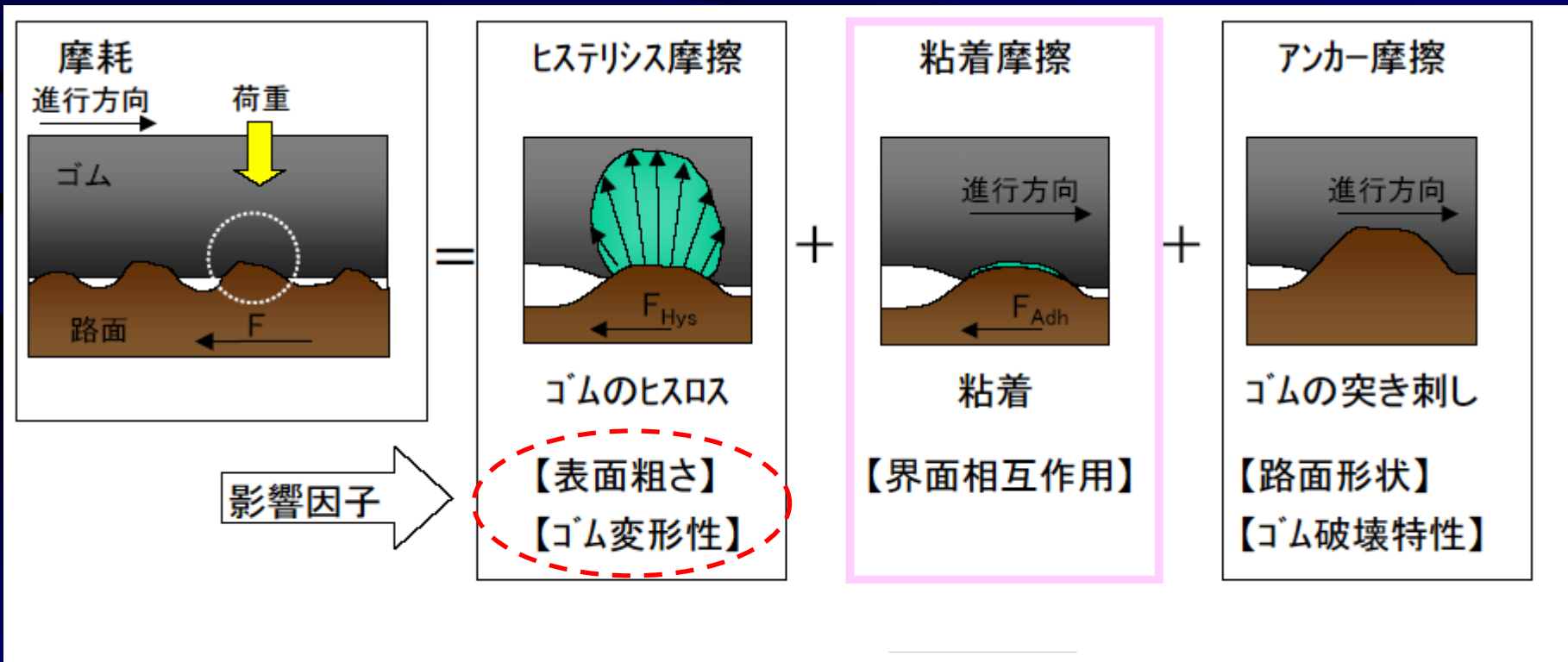


ゴムのヒスロス

【表面粗さ】

【ゴム変形性】

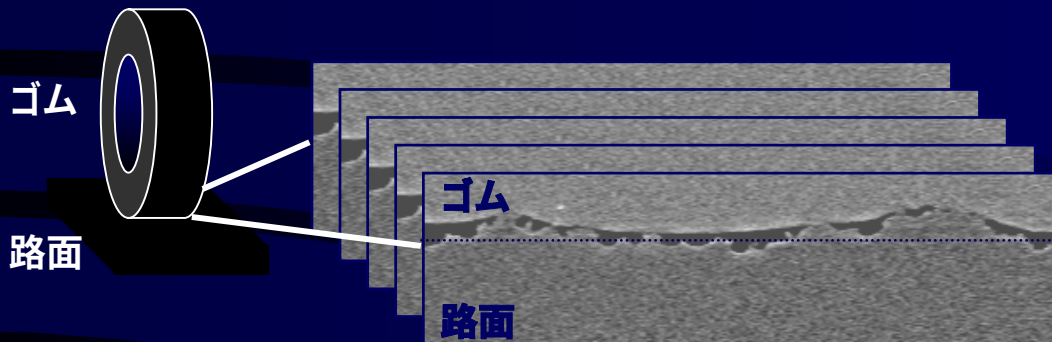
摩擦と磨耗



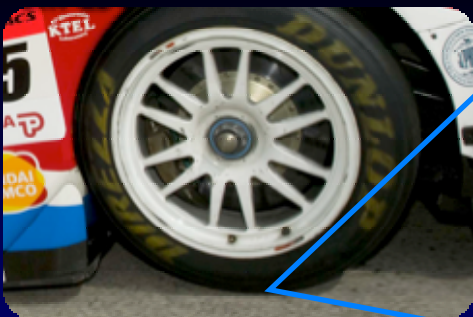
接地部ゴムのマイクロ変形を知る

"local" deformation on surface

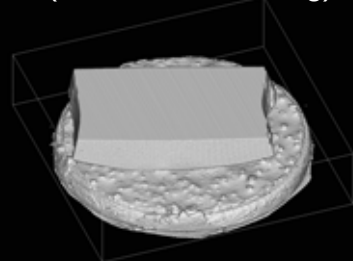
- Surface roughness
- Penetrating depth of rubber
- Local strain
- Actual surface contact area



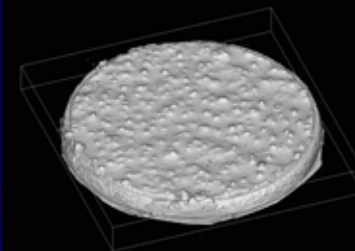
⇒摩擦係数 μ に係るパラメーター



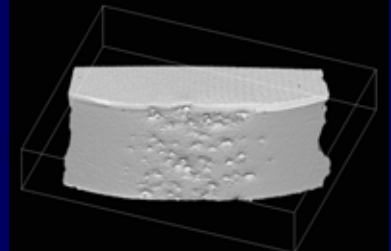
3D-image
(Surface Rendering)



Top View of Test Road



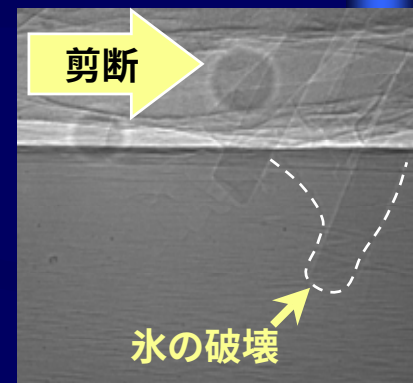
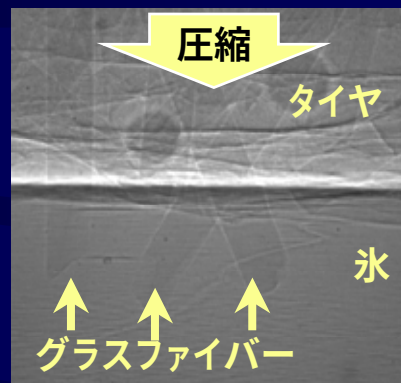
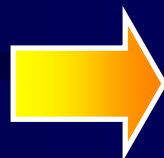
Bottom View of Rubber



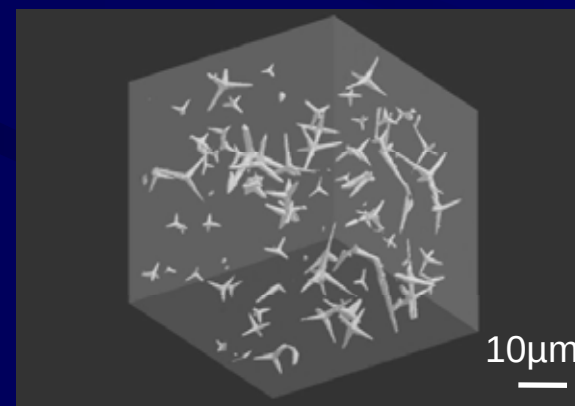
スタッドレスタイヤ開発へのイメージングの活用



屈折コントラストイメージング



高分解能X線CT



当社/ゴム業界へのSPring-8のインパクト

●ゴム材料の構造物性相関研究、機構解析に不可欠な解析ツール

動的・In-situ解析に今後利用対象、頻度が上がると予想
→ソフトマター専用産学連合BL建設計画

●当社/日本のR&Dを特徴づける解析ツールに



企業研究者にとって、敷居が低く、使いやすい施設に

Global Tyre Producers 2006

2006		Tyre	
Rank	Company	Sales	HQ
		(M \$)	
1	Bridgestone	19,400	Japan
2	Michelin	19,300	France
3	Goodyear	18,000	USA
4	Continental	6,800	Germany
5	Pirelli	4,955	Italy
6	Sumitomo	3,703	Japan
7	Yokohama	3,185	Japan
8	Hankook	3,100	South Korea
9	Cooper	2,676	USA
10	Kumho	2,448	South Korea
11	Toyo	1,867	Japan
14	Hangzhou	1,082	China
15	Triangle	980	China
19	Shanghai	799	China
	Total	112,500	

謝辞

東京大学新領域創成科学研究科 雨宮慶幸教授、篠原佑也助教

防衛大学 荒井隆教授、荻田克美助教

SPring-8/JASRI 竹内晃久博士、上杉健太郎博士、鈴木芳生博士、井上勝晶博士、八木直人博士

海洋研究開発機構 渡邊國彦博士、平野 哲博士、新宮 哲博士、数納広哉博士、長谷川裕樹博士、上原 均博士、津田義典博士、杉山大祐 氏

- ◆海洋研究開発機構 横浜研究所 地球シミュレータセンター
- ◆高輝度光科学研究センター
- ◆アドバンスソフト (株)
- ◆東京大学物性研究所
- ◆北海道大学情報基盤センター
- ◆自然科学研究機構岡崎共通研究施設計算科学研究センター
- ◆文部科学省 先端大型施設戦略活用プログラム
- ◆兵庫県地域結集型共同研究事業, JST

ご清聴有難うございました