

住友ゴムにおける商品開発での HPC 活用事例

氏名 角田 昌也



略歴

1992 年 神戸大学工学部工業化学科卒業

同年 住友ゴム工業株式会社入社

多くのシミュレーション手法開発を手掛け、
社内スパコンや社外 HPC を活用し、スポーツ用品
タイヤなどの商品開発に貢献。

2020 年 研究開発本部 研究第一部長就任

2025 年 研究開発本部 計算科学研究部長就任

講演の概要

住友ゴム工業では、タイヤのキー性能であるグリップ、燃費、耐摩耗性というトレードオフ関係のブレークスルーを目指し、HPC を材料開発に積極的に活用しています。ゴムの複雑な階層構造に起因する物性発現メカニズムの解明には、量子化学から分子動力学、有限要素法に至るマルチスケールシミュレーションが不可欠です。

本講演では、スーパーコンピュータ「京」を活用した高強度ゴム開発や、「富岳」による粘弾性特性予測シミュレーションと、それに基づくコンセプトタイヤ『アクティブトレッド』開発の事例を紹介します。さらに、HPC によるメカニズム解明と AI による予測を融合させた、次世代デジタルものづくりの展望についても述べ、今後の産業界における HPC 活用のポイントを提案します。

第8回HPCIコンソーシアムシンポジウム

開催テーマ： HPC技術の産業展開 ～産業界の視点から～

2025年10月23日（木） 開催場所： THE GRAND HALL品川

住友ゴムにおける商品開発でのHPC活用事例

住友ゴム工業株式会社
研究開発本部 計算科学研究部
部長 角田 昌也

住友ゴムの会社概要

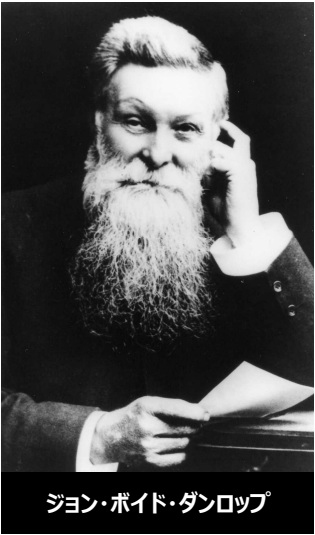


【沿革】
1909年創業
1913年国産初の自動車用タイヤを生産
1963年～ 住友ゴム工業（株）

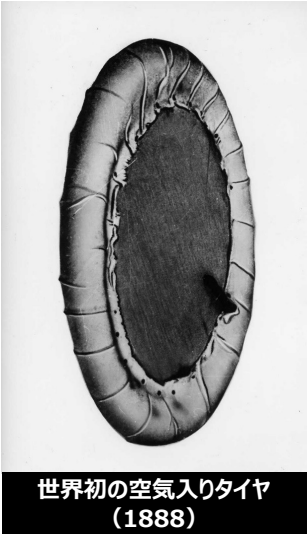
【本社】
神戸市中央区脇浜町



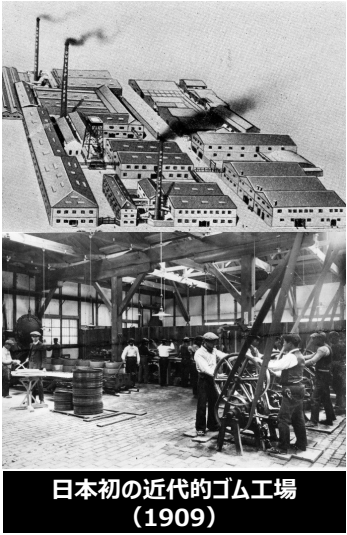
神戸本社



ジョン・ボイド・ダンロップ



世界初の空気入りタイヤ
(1888)



日本初の近代的ゴム工場
(1909)



創業80年1989年接地



2020



住友ゴムにおけるシミュレーション技術の活用紹介

Computer Aided R&D

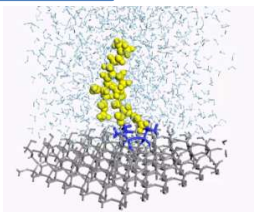
メカニズム解明→新規アイデア創出



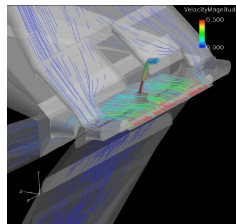
Computer Aided Engineering

試作削減、評価工数削減

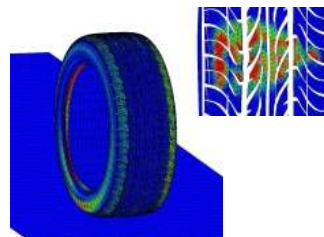
タイヤ



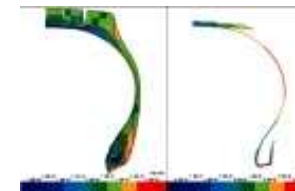
分子シミュレーション



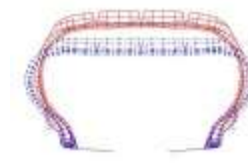
押出シミュレーション



タイヤ転動

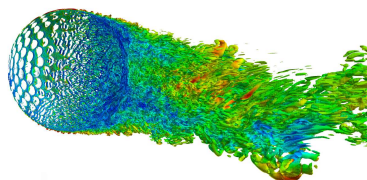


タイヤ耐久予測



インフレート形状

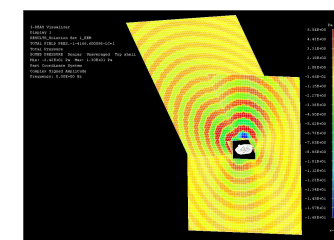
スポーツ用品



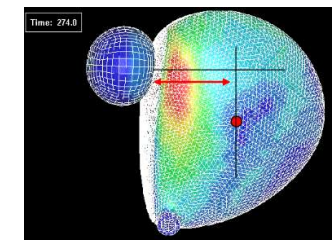
ゴルフボール空力



ゴルフスイング



ゴルフクラブ打球音



ゴルフクラブインパクト

相対予測

高精度化

絶対予測

シミュレーションの高精度化、高速化で欠かせないHPC

予測精度を上げる

- 空間解像度を上げる
要素分割数を増やす、分子の解像度を増やす
- 支配方程式の中で考慮する項を増やす
例：温度変化を考慮する
- 近似精度を上げる
例：一次近似から高次近似に変更
- 収束計算で許容誤差を小さくする(陰解法)
- 時間刻み幅を小さくする(陽解法)
- 物性の非線形性を考慮する
例：温度依存性を考慮する
- 境界条件の非線形性を考慮する
例：自己接触を考慮する

実際に起こっている現象をより忠実に
シミュレーションする

計算量が増える

高速化が必要

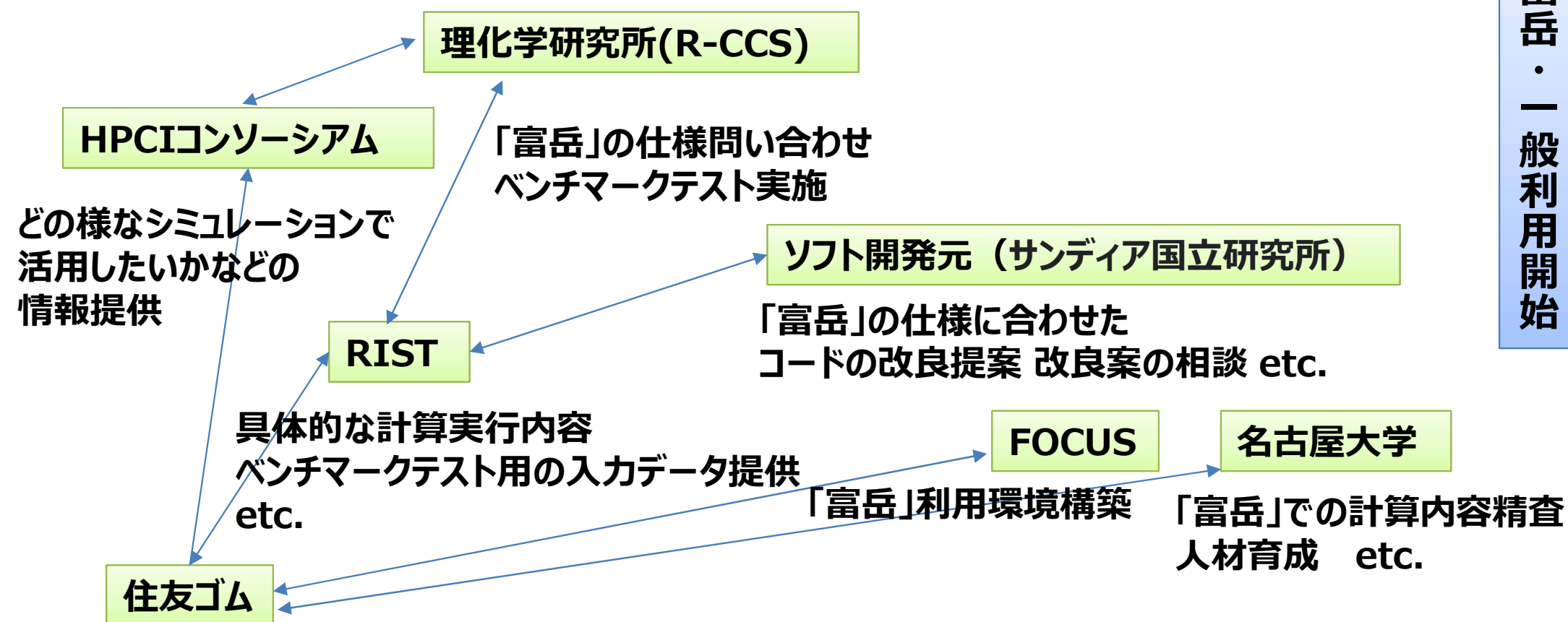
- ソフト改良(並列性能を高める など)
- ハード更新、増強 **クラウドを活用**する

最先端の計算資源を利用できる機会があること

計算科学振興財団(FOCUS)や高度情報科学技術研究機構(RIST)の活用

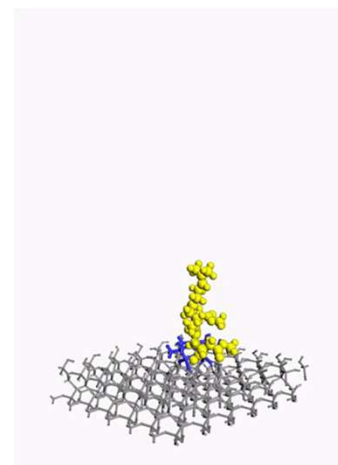
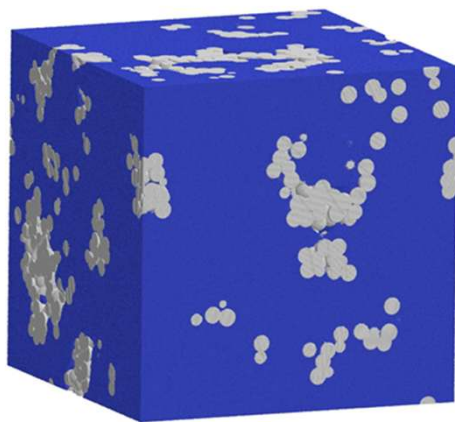
人材育成・環境構築から実際に使用するまで(富岳活用に至ったケースを元に)

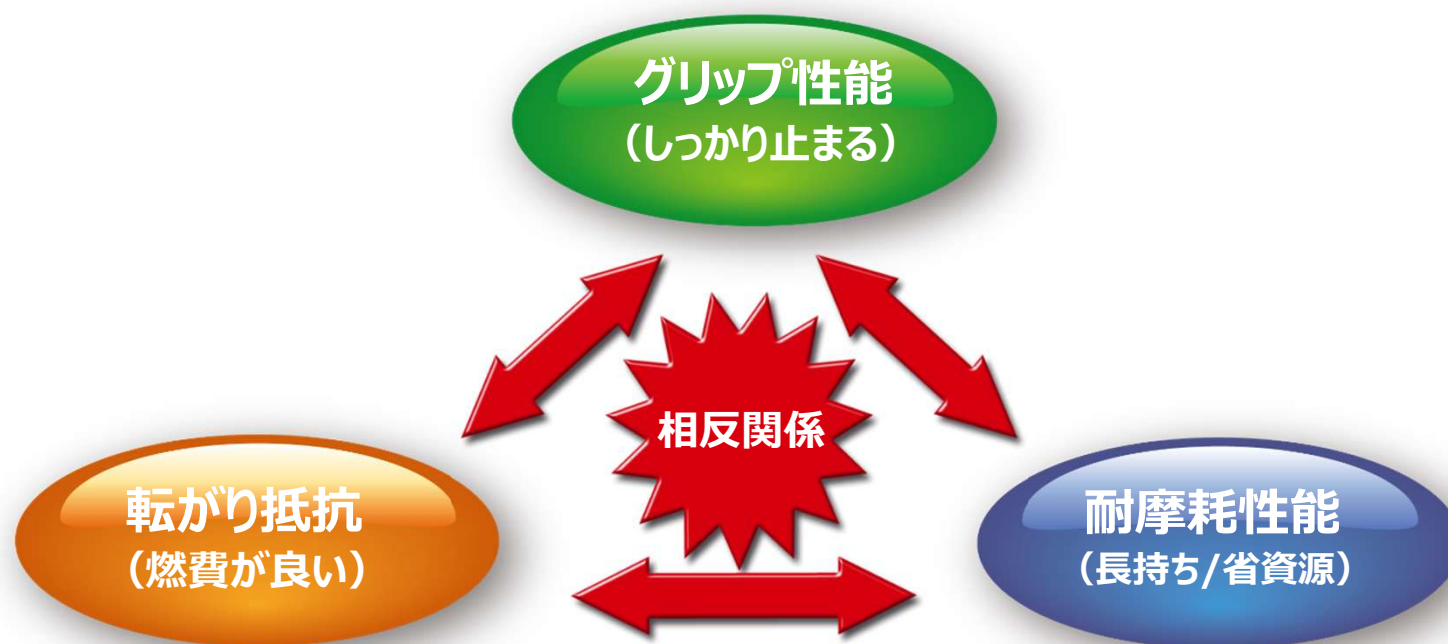
富岳・一般利用開始



富岳一般利用開始前の2年間で、利用準備ができた

材料設計におけるシミュレーション技術の活用事例

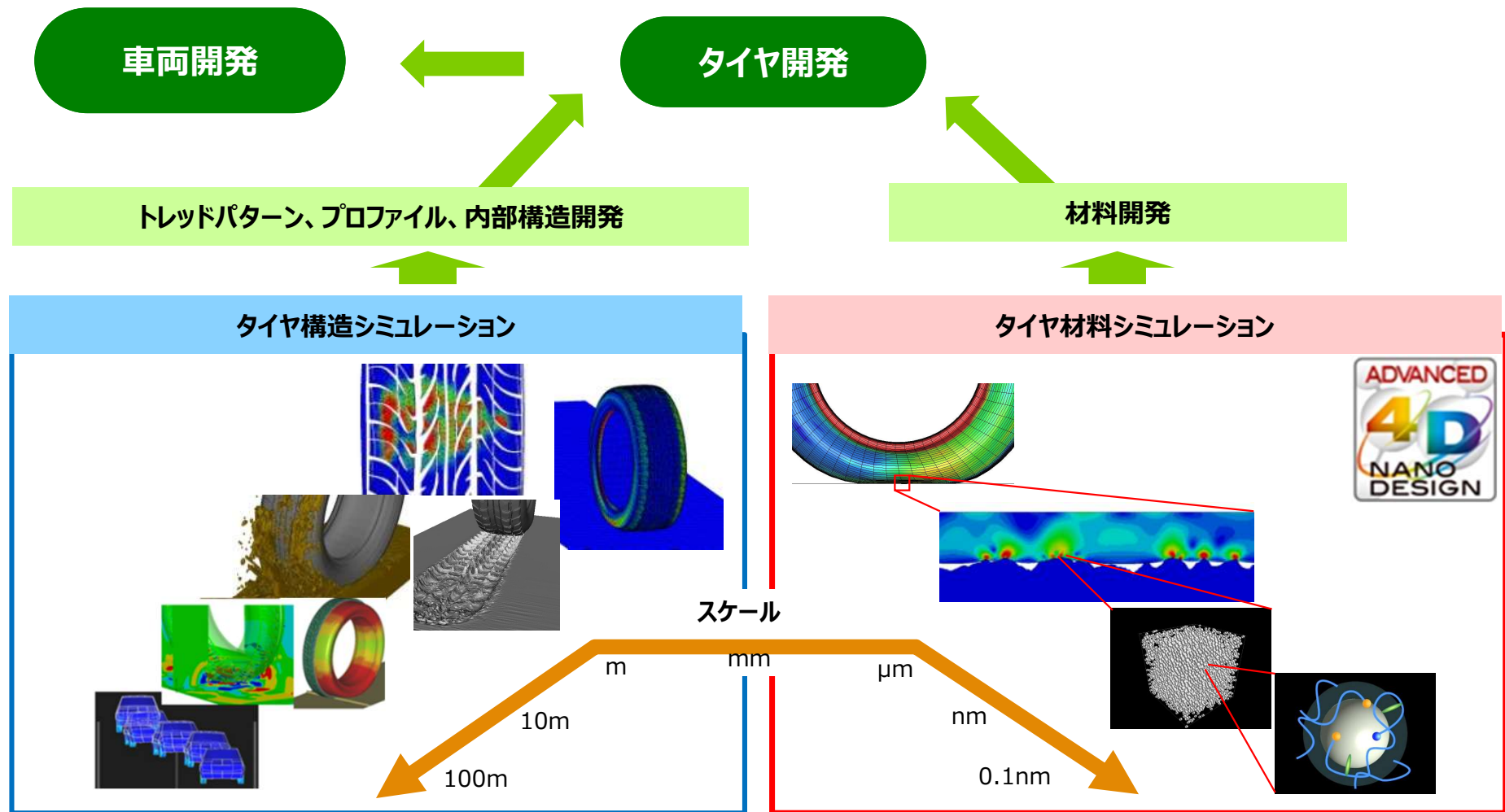




高度化するタイヤ開発 = 3つの性能をそれぞれ向上

コンピューターシミュレーションを活用

シミュレーションを利用したタイヤ開発



タイヤの構造（例）

…燃費、グリップ、強度への
性能寄与率が高い



この素材開発が
最も重要

トレッドゴム

ナイロンバンド

スチールコード

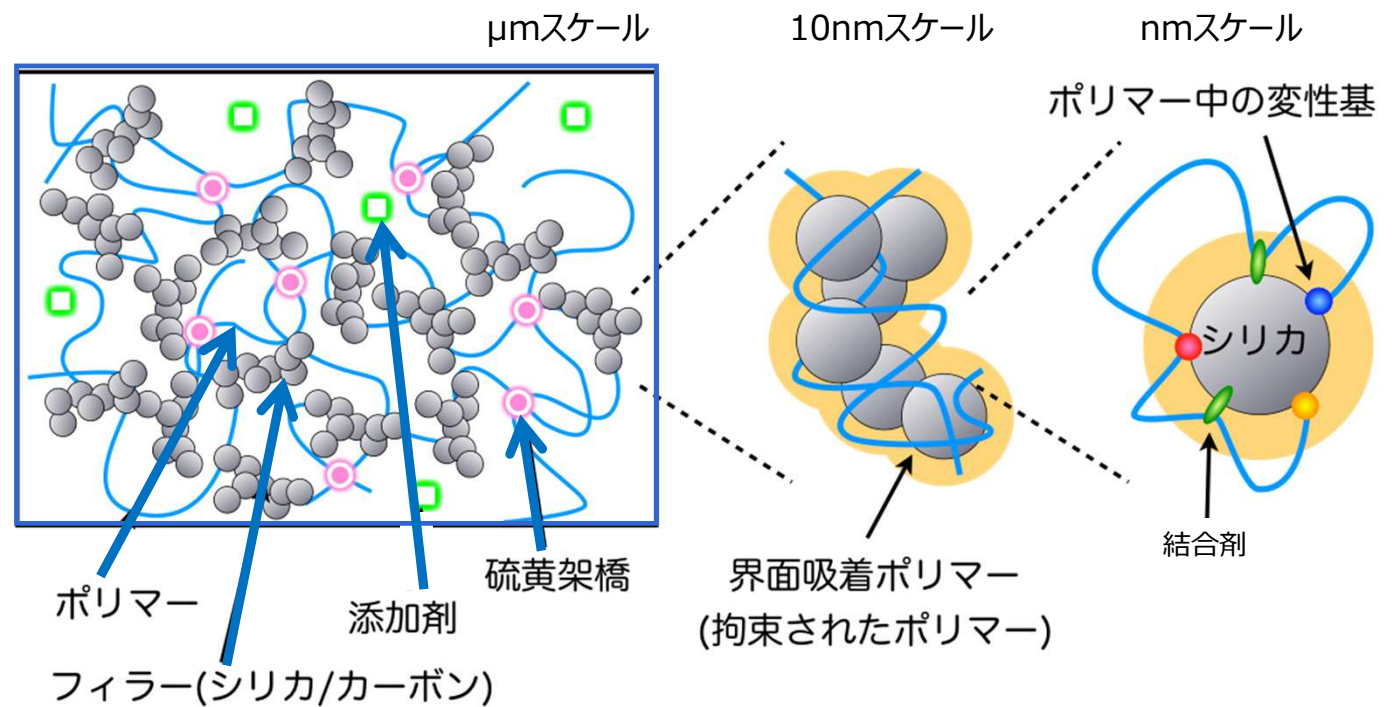
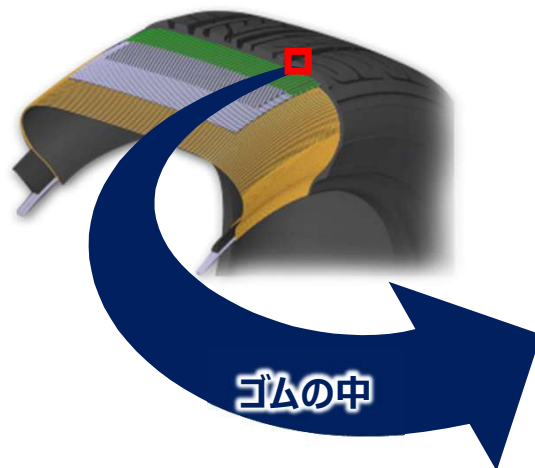
ポリエステルケース

サイドウォールゴム

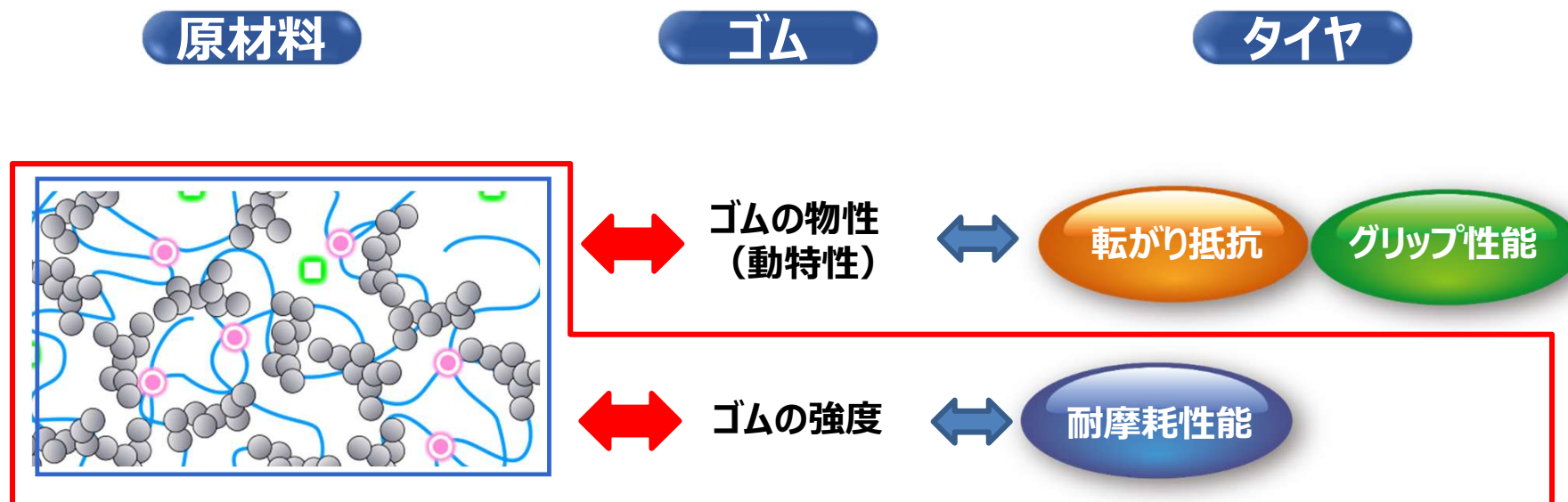
ビードワイヤー

インナーライナーゴム

タイヤの構造（例）

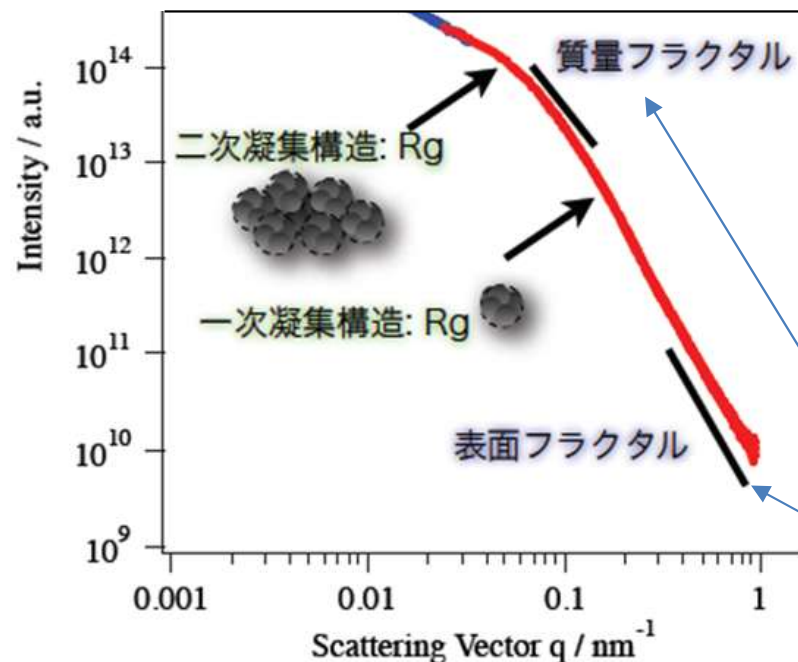


原材料が複雑に相互作用しゴムの特性を発現



ゴムの『材料』と『ゴムの物性・強度』の関係をより詳しく理解することが重要

SPring-8で得られたフィラーの不均質構造・偏りの大きさ



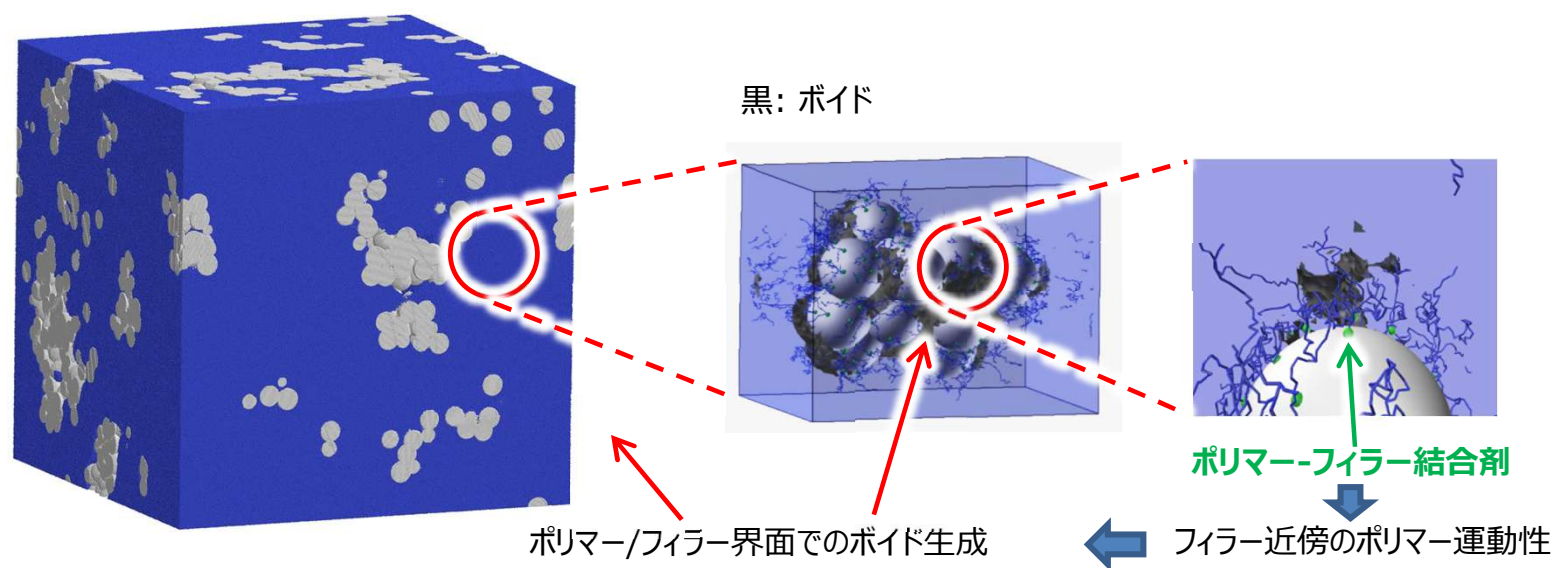
岸本ら, SPring-8シンポジウム2012, 2012年8月.

**グラフの傾きの違い
→内部構造の複雑さを示す**

SPring-8での測定から大きなモデルサイズ(サブ μm)が必要なことが分かった

**ゴムの粘弾性発現機構はフィラーの分散状態の影響大
高解像度かつ広視野の大規模シミュレーションが必要**

高強度、高い耐摩耗性能を有するゴム材料の開発



解析・シミュレーションに基づく高強度ゴムの開発



2016年上市

ADVANCED 4D NANO DESIGN
採用第1弾商品



**エナセーブ
NEXT II**
エナセーブ ネクスト ツー

商品コンセプト
ラベリング制度の最高峰[AAA-a]を達成し、
さらに「ロングライフ」も実現した低燃費タイヤ

特長

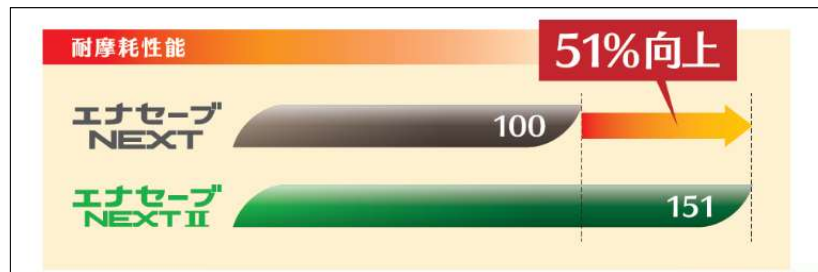
- ダンロップ史上極限にまで高めた低燃費性能
- 高次元のウェット性能
- 耐摩耗性能を向上させたロングライフ

販売サイズ
195/65R15 91H

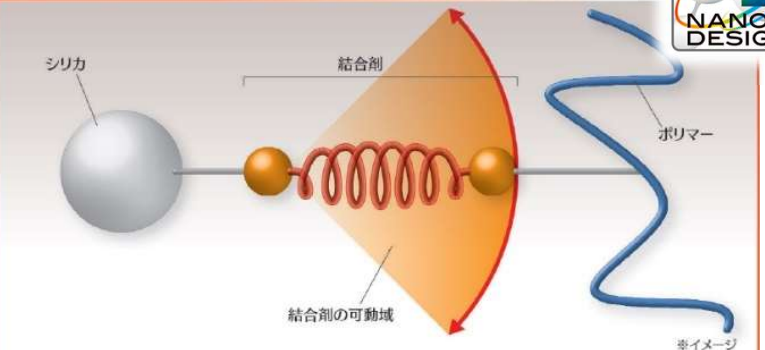
ロング
ライフ
低燃費タイヤ

AAA A A B C
a b c d

グリーン
購入者
優待商品



新フレキシブル結合剤



シリカ 結合剤 ポリマー

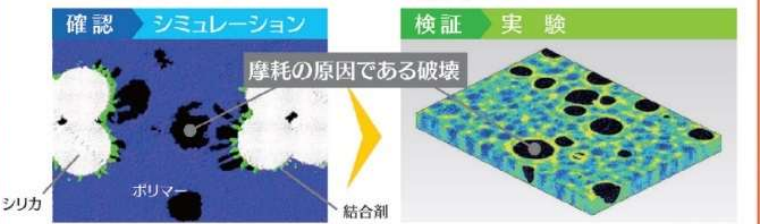
結合剤の可動域

※イメージ

結合剤が長い
結合力は同じ

可動域が大きい(耐摩耗性能、
グリップの両立)
燃費はキープ

確認 シミュレーション 検証 実験



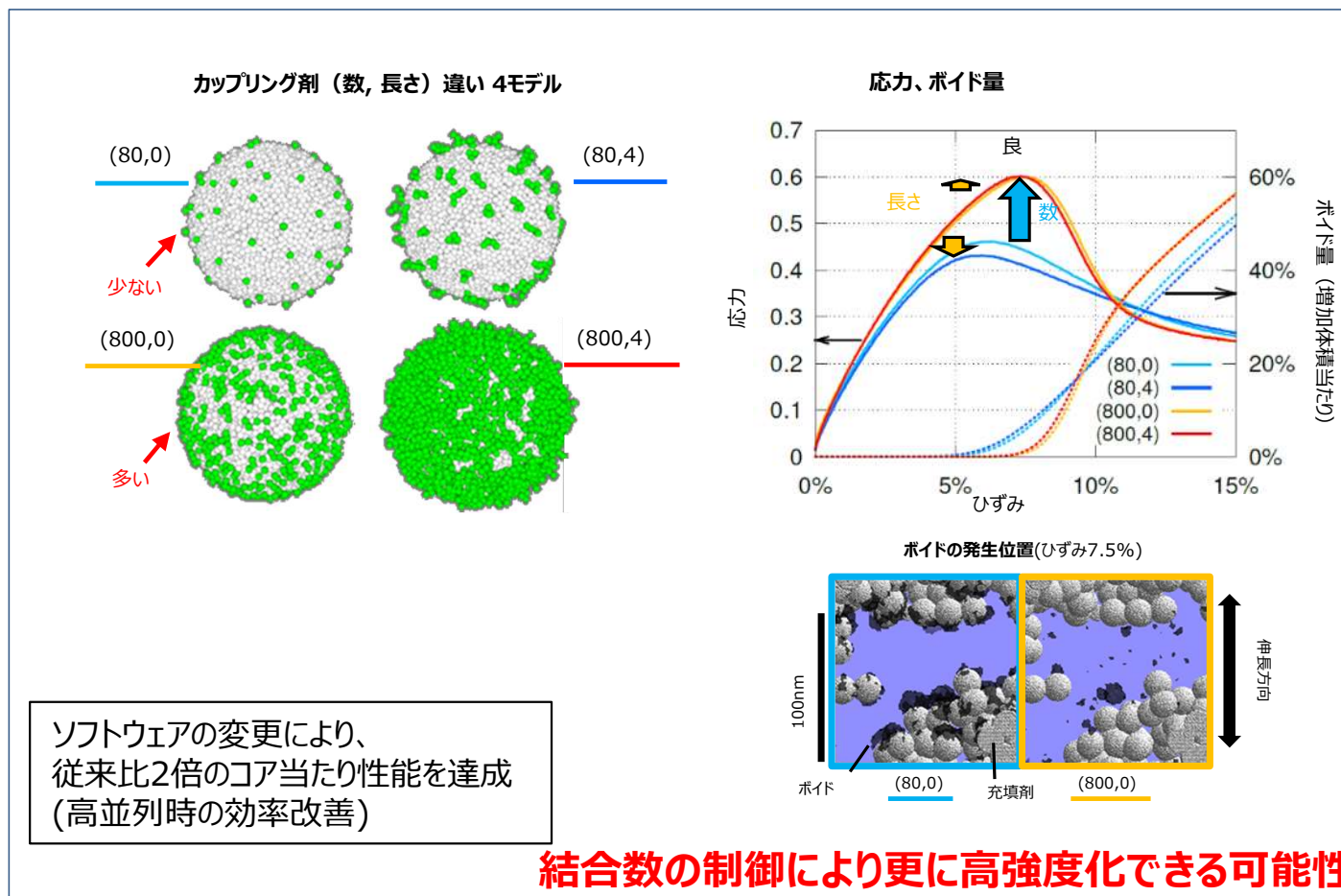
シリカ ポリマー 結合剤

※イメージ

2017年 日経地球環境技術賞
最優秀賞 受賞

tire
TECHNOLOGY
INTERNATIONAL 2017
AWARDS

充填剤/高分子間の構造がゴム強度に及ぼす影響評価



製造工程(混練り工程)
の重要性を再認識



FOCUS様
2021年4月発行
スパコン シミュレーション利用事例集にも掲載

タイヤ用ゴム・「富岳」活用の事例紹介



原材料

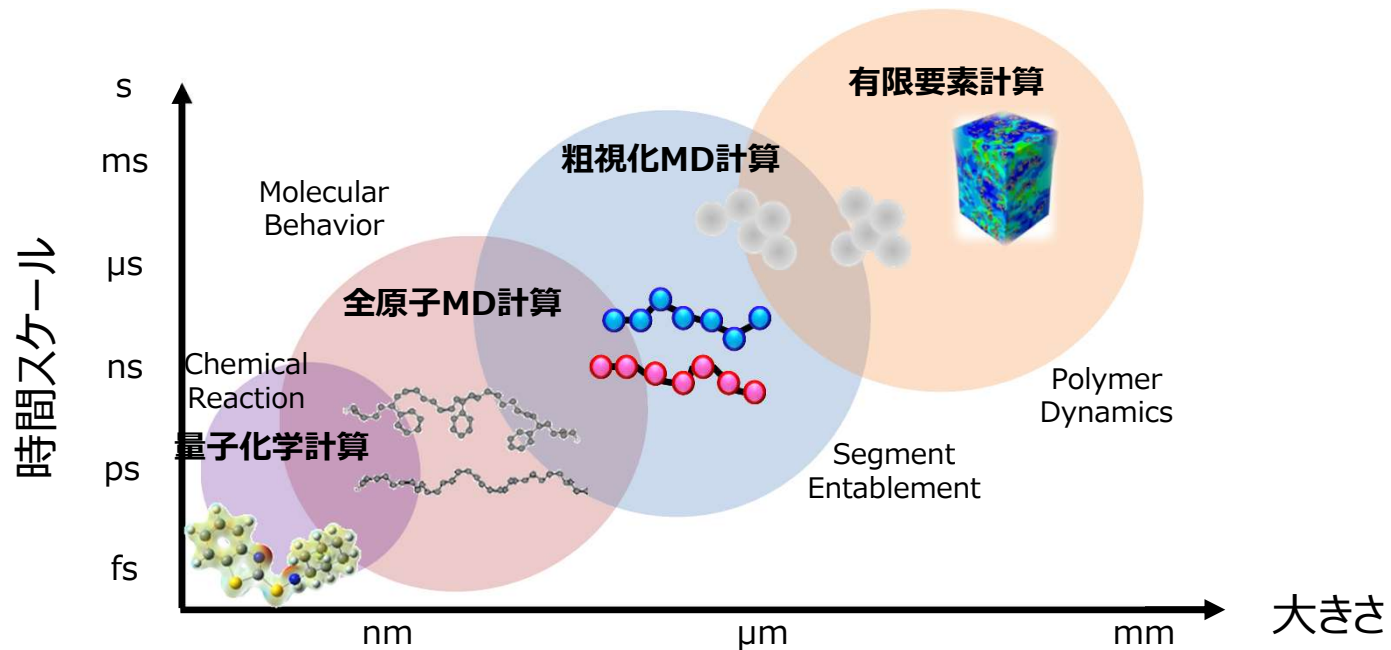
ゴム

タイヤ



ゴムの『材料』と『ゴムの物性・動特性』の関係をより詳しく理解することが重要

マルチスケールシミュレーションの必要性



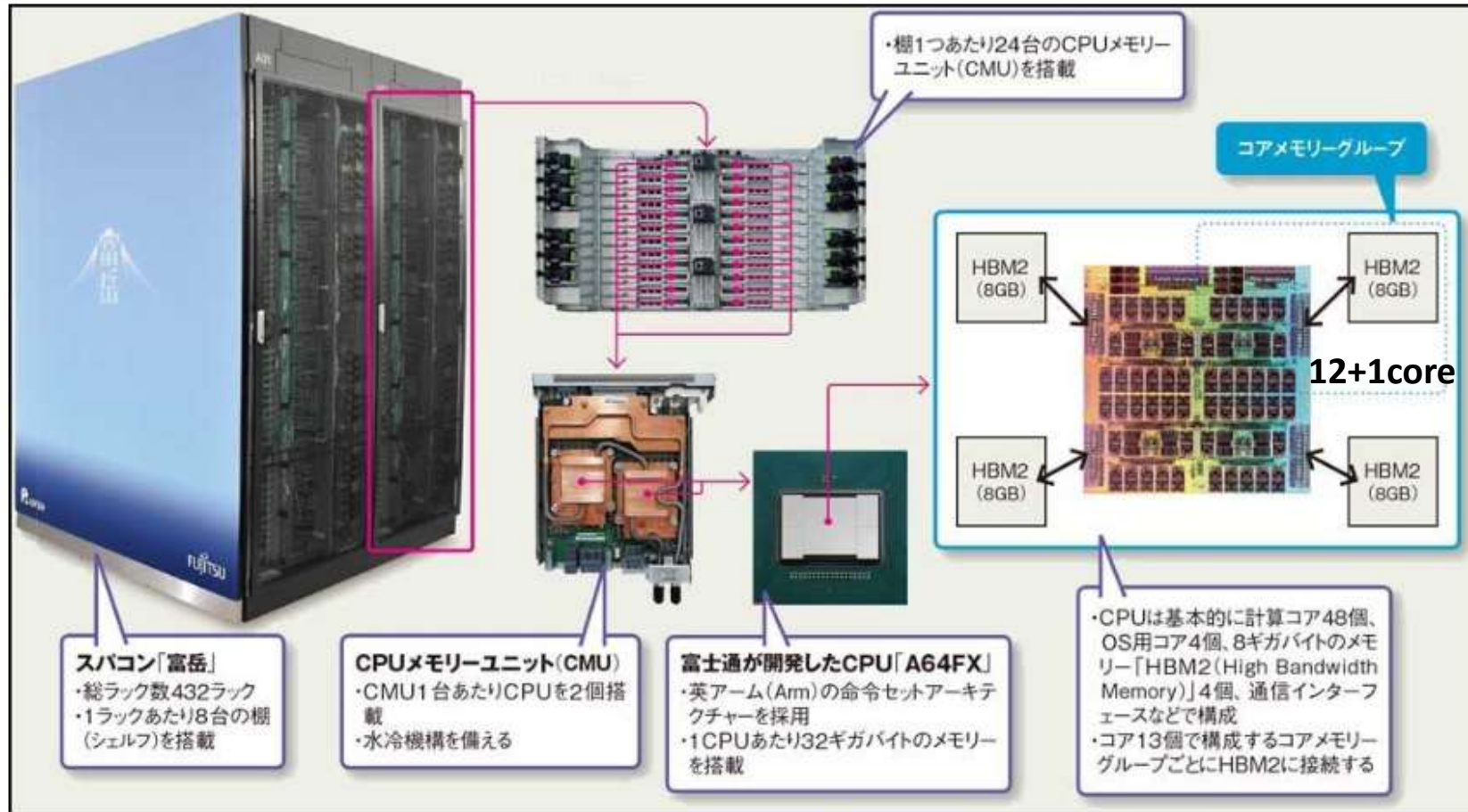
物性(粘弾性特性)を予測するには、大規模かつ長時間の非定常シミュレーションが必要

↓
富岳の活用



「京」の20~30倍の速度で
粗視化MD計算が可能

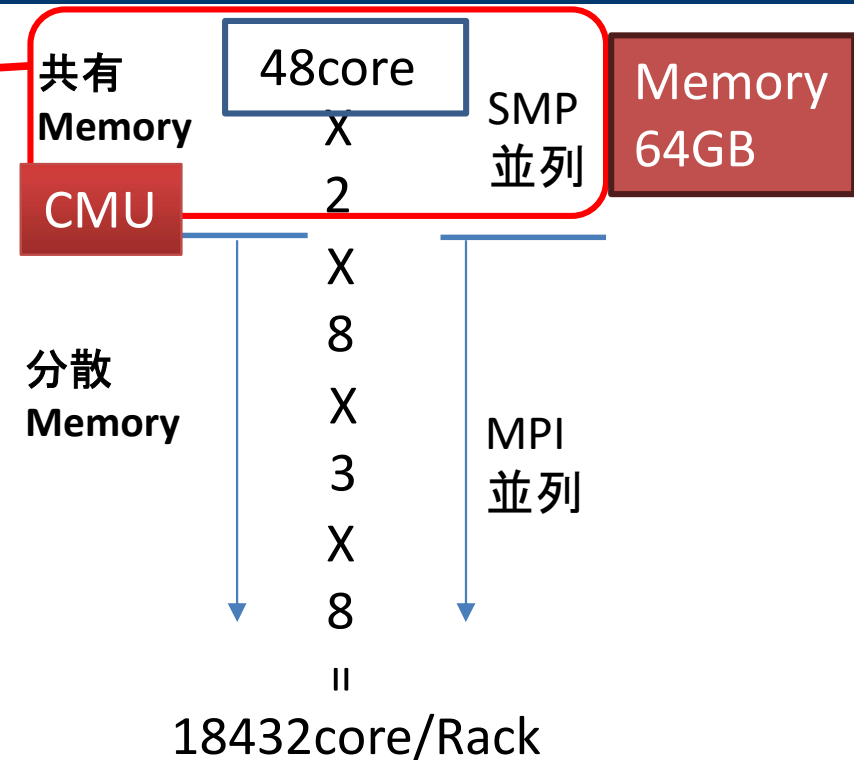
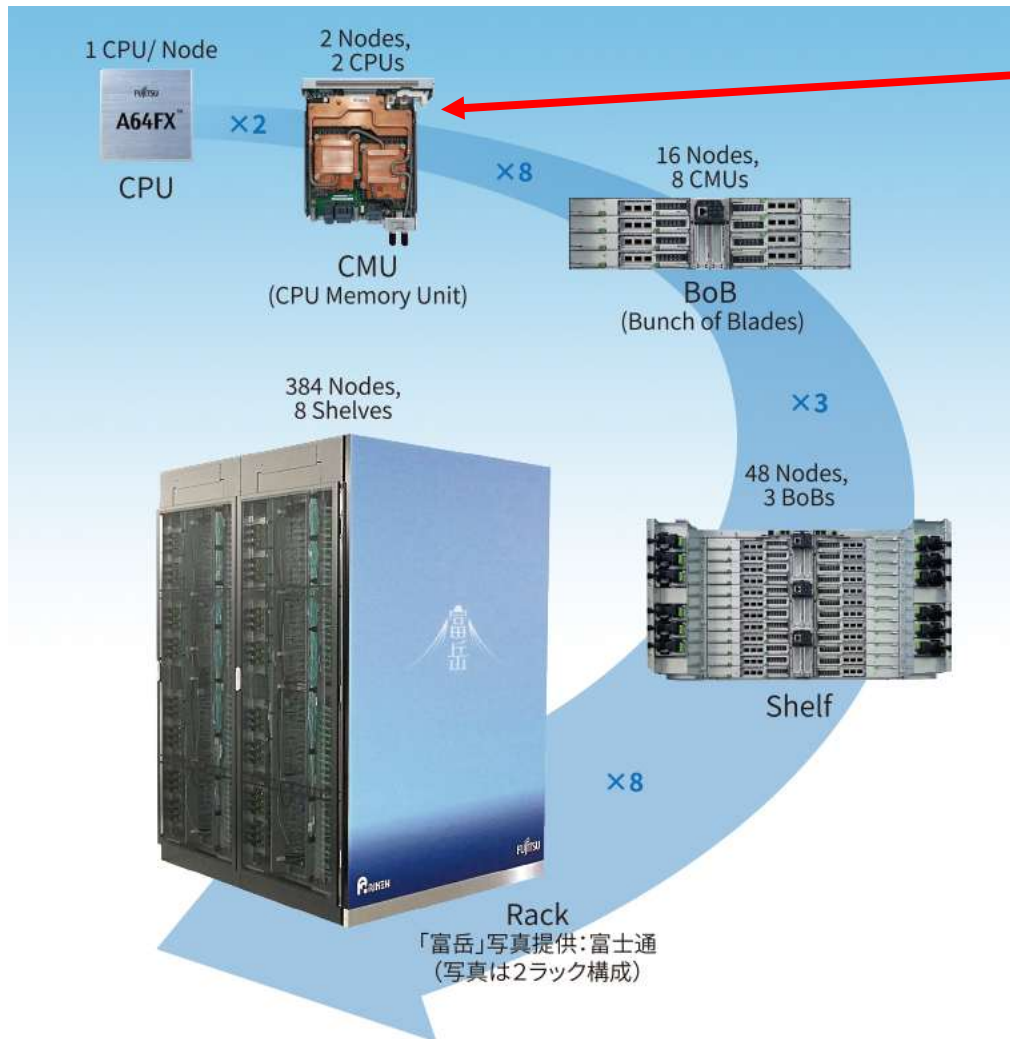
スーパーコンピューター富岳の特徴



<https://hacarus.com/ja/ai-lab/20210331-fugaku/>

CPU : 48core/CPU Memory : 32GB/CPU

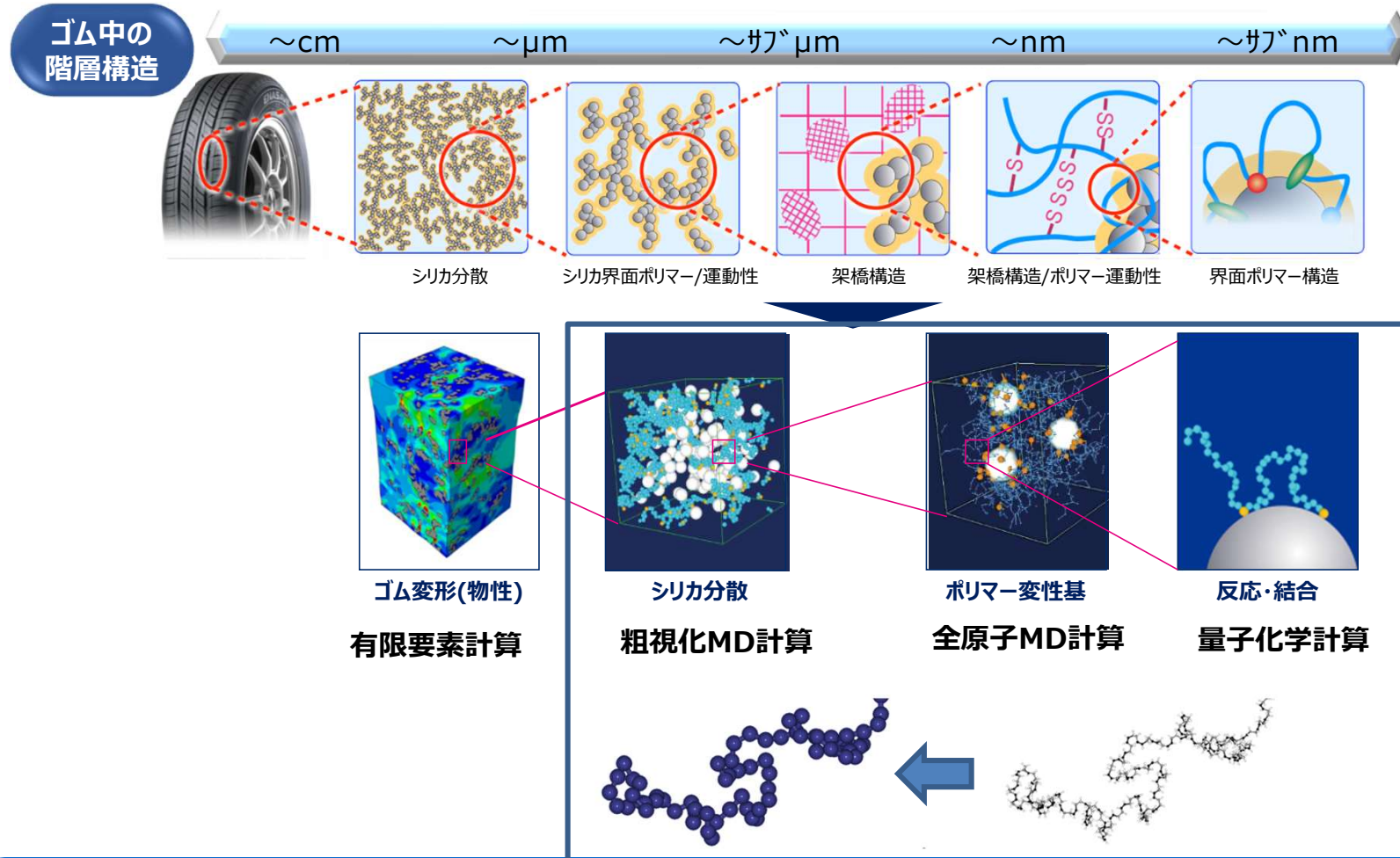
スーパーコンピューター富岳の特徴



超並列化で、並列化効率が
良い計算で活用効果大

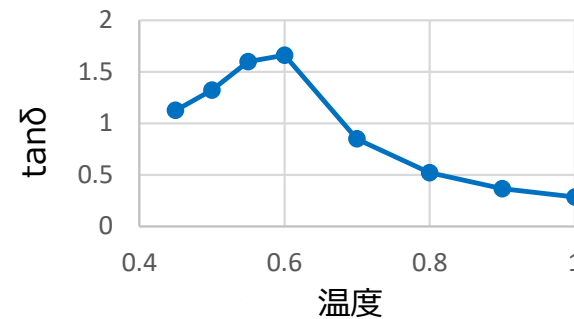
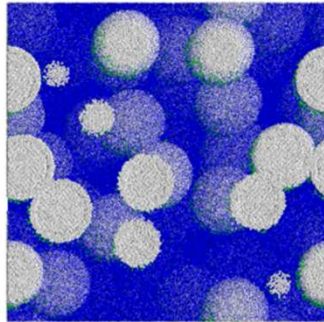
<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>

粗視化MDシミュレーションで予測するゴムの粘弾性特性

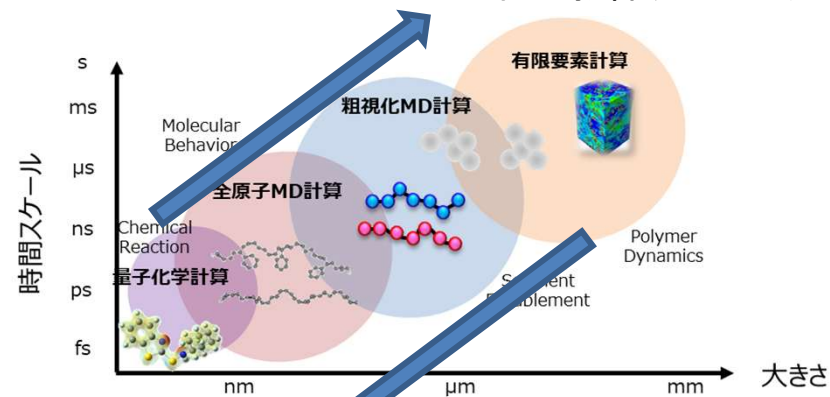


粗視化MDモデルの構築には高精度シミュレーションで得られる情報必要

計算速度が速くなったことで、長時間の現象をシミュレートできるようになった



分子レベルでの変化が物性に
どの様に影響するかが分かる



所望の物性を実現できる
分子構造を検討できる

目標の粘弾性特性を満たす分子構造を考案できる

粘弾性予測シミュレーションの活用・アクティブトレッドの開発への適用



様々な要求性能
(路面環境変化、使用用途)

複数のタイヤカテゴリー

性能バランスを変えることにより安全を担保

アクティブトレッドの開発背景

路面の環境変化を利用して性能をスイッチさせる

アクティブトレッド (イメージ)



路面環境により
レーダーチャートが
変化する

1つのタイヤに複数の性能を持たせる “新しい発想”

粘弾性特性予測シミュレーション（実例紹介）

TYPE WET

可逆 水

ACTIVE TREAD

開発コンセプト DRY=WET

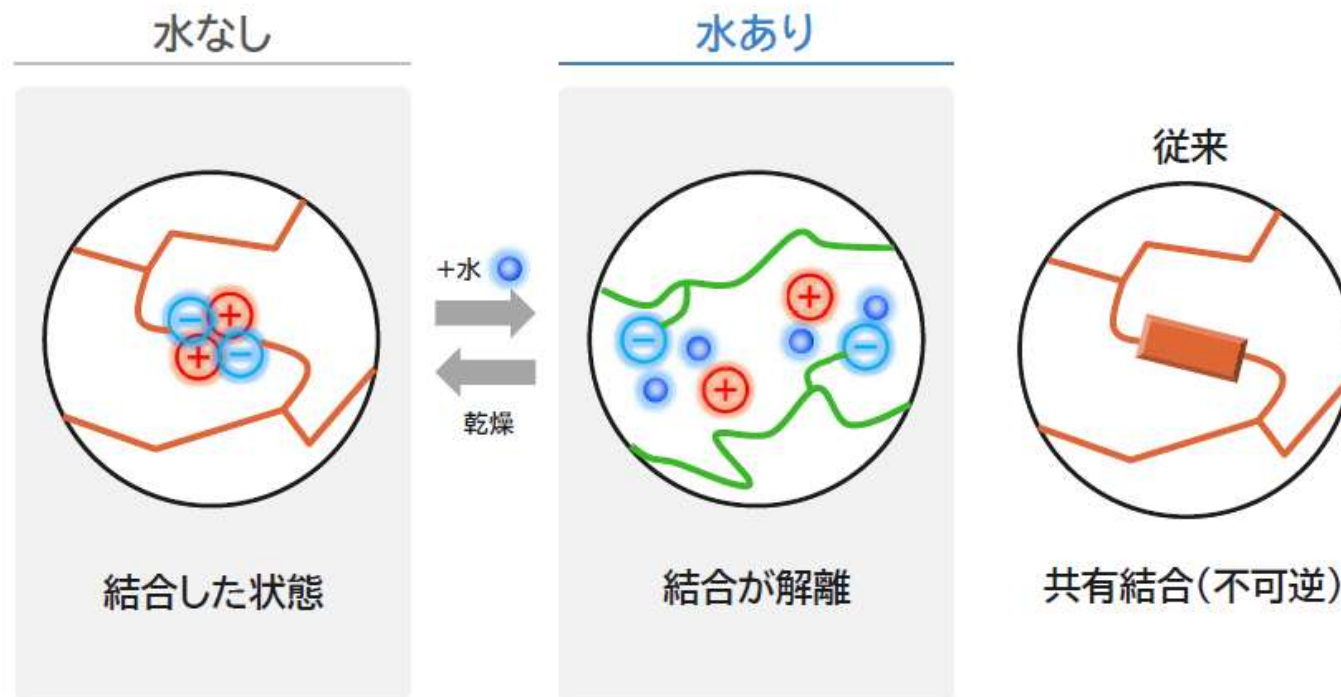
雨の日はブレーキ距離が長くなる(不安)

いつでもブレーキ距離が同じ(不安の解消)

ゴムが水で柔らかくなる
(表面層のみ変化)

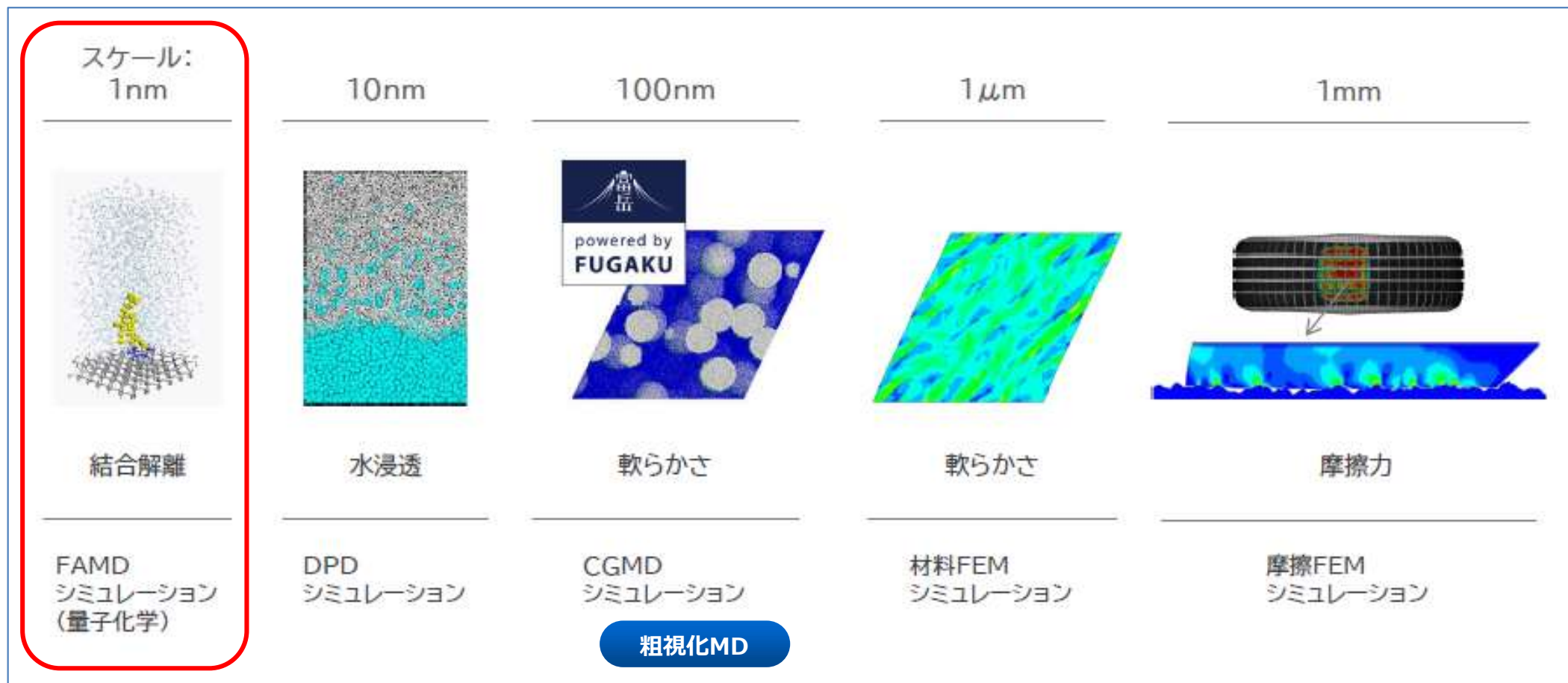
水によるスイッチ(TYPE WET)
2023年コンセプトタイヤ発表
@ Japan Mobility Show

DRY↔WET スwitchの繰り返し



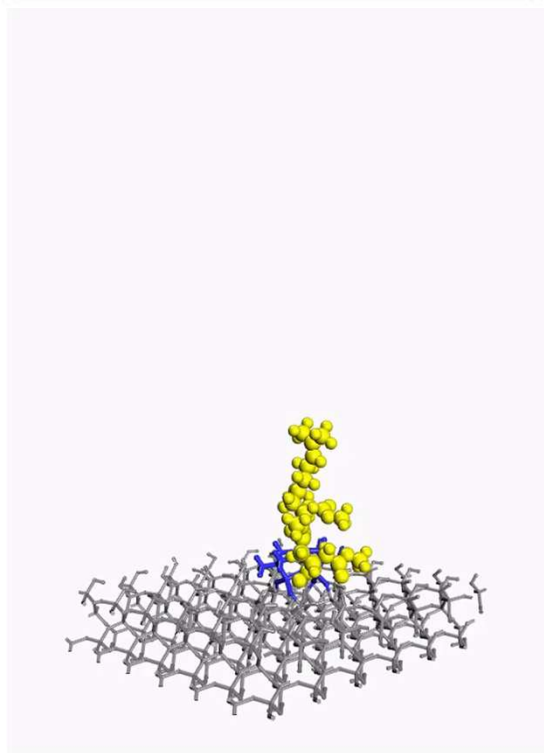
可逆性のあるイオン結合の新規導入

粘弾性特性予測シミュレーション（実例紹介）

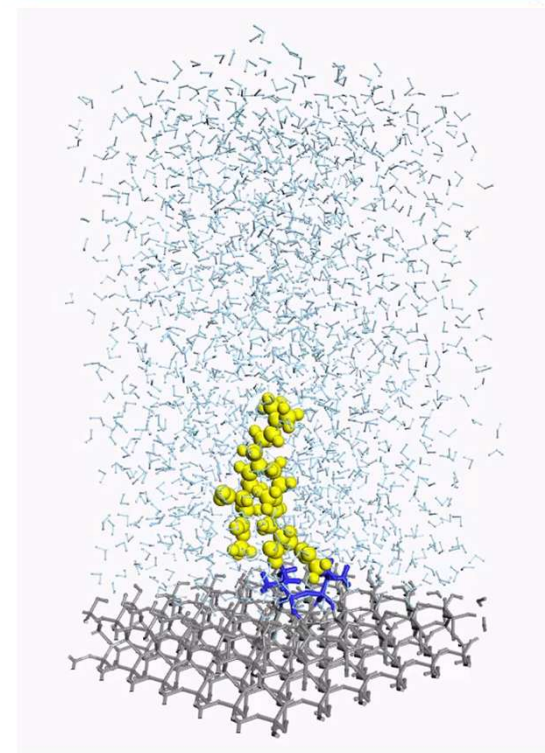


フィラー界面 水による結合変化のシミュレーション(全原子MD)

水なし



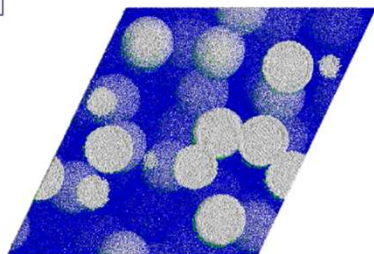
水あり



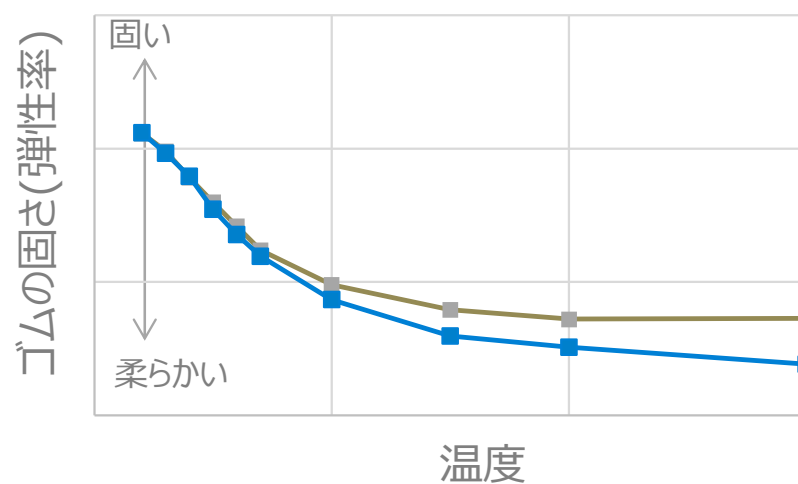
粘弾性特性予測シミュレーション（実例紹介）



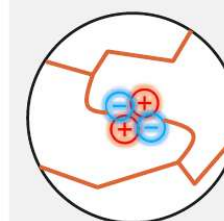
粘弾性特性予測シミュレーション（実例紹介）



シミュレーション結果

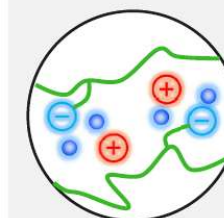


水なし



結合した状態

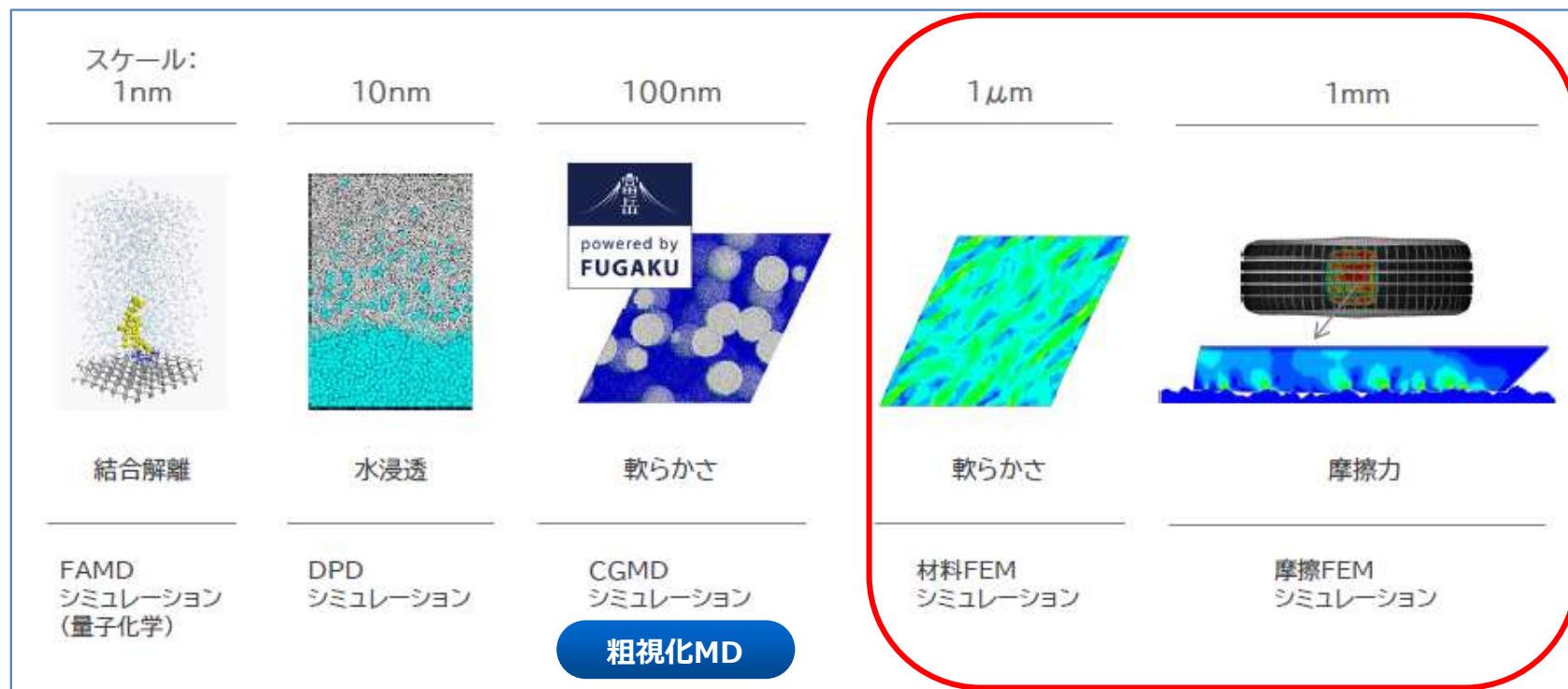
水あり



結合が解離

※イメージ

粘弾性特性予測シミュレーション（実例紹介）



分子スケールから実スケールを繋ぐ肝

「富岳」による粘弾性特性予測シミュレーションによって開ける世界



実際のタイヤのゴムはもっと複雑

他にも配合物が有る

- ・ポリマーブレンド（2種類以上のポリマー）
- ・架橋剤
- ・レジン
- ・オイル
- ・老化防止剤
- ・フィラー（シリカ+カーボン）
- ・etc.

工程によって物性が変化する

- ・混練り条件、ミキサーの種類など
フィラー分散、カップリング剤の反応率
ポリマーブレンドの状態など
- ・加硫条件
加硫反応の経路、架橋密度
架橋の分布など

よりリアルなモデルに

より具体的な配合最適化

より具体的な工程最適化

「高い機能・安全性能」の実現と性能維持、「環境負荷低減」を両立した材料設計

- ①仮説の検証ができる
実験結果から立てた仮説の確からしさを評価できる
⇒メカニズム解明（何故良くなるのかの裏付けが取れる）

- ②仮説通りにならない場合、その原因を特定しやすい
他の仮説を立てることに繋がる
⇒次回どんな実験をするべきかの検討に繋がる

- ③苦労して有機合成しなくても、いろいろとシミュレーションで検討できる

AI登場によるデジタルものづくりの今後

商品開発におけるAI活用→商品の性能予測

デジタルものづくり

AIベース設計

CAEベース設計

徹底した
効率化
高速化

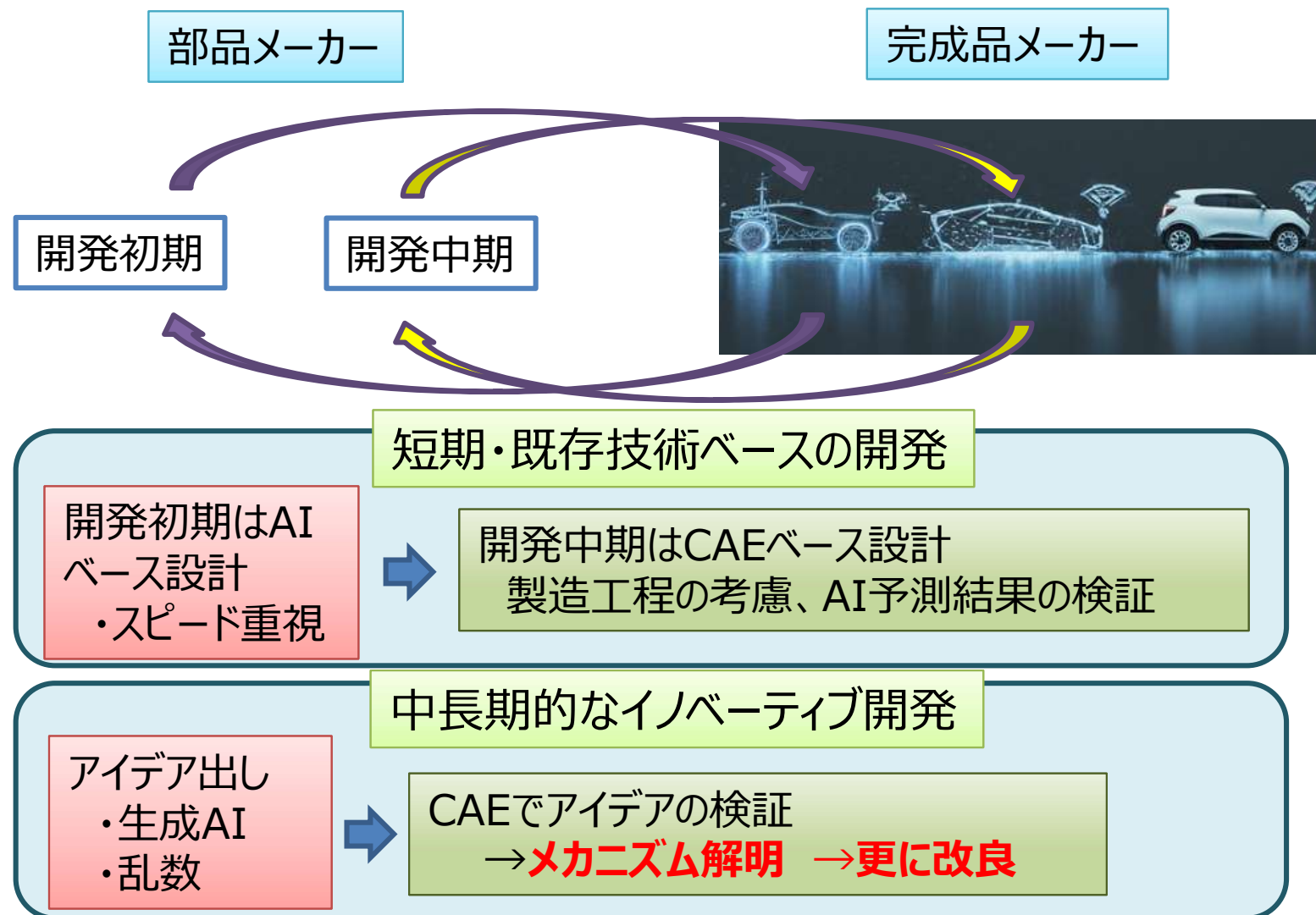
既存技術
内挿予測

新技術
新構造
新材料

過去資産の
有効活用

メカニズム解明
新規アイデア創出

実験代替



- ①AIとCAEとを融合させることで商品開発の効率化を加速
開発初期の性能見積もりが短時間、高精度でできる

開発中期、試作前の性能、費用見積もり精度が向上
→試作やり直し、設計変更の確率が減る
- ②AIでやる部分と人がやる部分の役割分担が明確になる
→イノベーティブな開発にリソースが回せる
- ③結果的により少ない工数、期間で、競争力のある
商品開発ができるようになる

フラッグシップ・スーパーコンピュータへの期待

高速化したい
シミュレーションの種類は様々

- ・分子シミュレーション（粗視化MD, 電子状態計算DFTなど）
- ・構造解析（陰解法、陽解法など）
- ・流体解析（定常、非定常 など）
- ・機械学習など



分野	代表的な計算手法	主要なボトルネック	最適なハードウェア特性
流体シミュレーション (CFD)	陽解法、有限体積法 (FVM)	密結合な通信性能 (特にメッシュが細かい場合)	高いネットワーク帯域と低い遅延、高い並列演算性能。 GPUによる並列化が有効。
構造解析 (陽解法)	有限要素法 (FEM)	大規模な並列演算。	高い演算性能 (GPUが非常に有効)。
構造解析 (陰解法)	連立一次方程式の求解 (行列演算)	メモリ帯域と通信性能 (疎行列演算)	高速なメモリ帯域、低遅延なネットワーク。
分子シミュレーション (全原子MD, 粗視化MD)	分子間力の計算	演算性能 (特にGPUの浮動小数点演算)。長距離相互作用では通信も重要。	高い演算性能 (GPU)。データ構造がシンプルで並列化しやすいため、GPU向き。
電子状態計算 (第一原理計算)	DFT (密度汎関数理論)	メモリ (データセットが大きい) とメモリ帯域。I/O性能。	大容量で高速なメモリ。 ノードあたりのメモリ容量。
機械学習/AI	行列積	演算性能 (特に低精度演算) とメモリ帯域	GPU、超高速メモリ。



GPU, マルチコアCPU, ノードあたり大容量・高速メモリー, 低遅延ネットワーク

多種多様な計算手法の特性にFITした計算資源の提供に期待

材料開発におけるシミュレーションで紹介したものには、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」および「富岳」を利用して得られたものが含まれています。

課題番号 : hp120032, hp140049, hp150183, hp160182
hp170063, hp180064, hp190006
hp210040, hp220033, hp230023

ゴムの先へ。はずむ未来へ。



住友ゴム工業株式会社

以上