

**超薄膜化・強靱化  
「しなやかなタフポリマー」の実現**

- ・プログラムの概要
- ・研究開発プログラムの進捗状況
- ・今後の開発計画と予算

**PM 伊藤 耕三**

# 様々な課題を解決する材料：ポリマー

3大材料：金属、セラミック、**ポリマー**

**ポリマー**：プラスチックやゴム、繊維、ジェル・・・

**ポリマー**の特徴 = 薄く、軽く、柔軟

航空機

合金材料→**複合材料**  
(**強化繊維**+**ポリマー**)

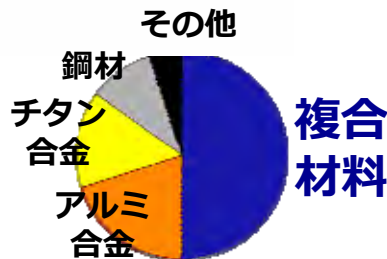
炭素繊維市場  
2,000億程度  
(日本が60-70%)

**強化繊維**

**ポリマー**

**複合材料**

John Wanberg, Composite materials fabrication handbook, Wolfgang Productions, 2009, p6図1を元に手を加えた



自動車

**複合材料**・**ポリマー**化により  
市場拡大へ \*日本主導が期待



提供：東レ

**車重半分・燃費2倍**

課題

- 高生産性、低コスト
- タフネス  
(硬さとしなやかさの両立)

# しなやかなタフポリマーの実現

薄くても破れない、硬くても脆くない

- 強靱性の向上 → 亀裂が入っても進展しない (壊れにくい)
- 柔軟性・形状回復性 → 力を分散して 躲(かわ)す
- 自己修復性 → 劣化を食い止めて破壊を未然に防ぐ

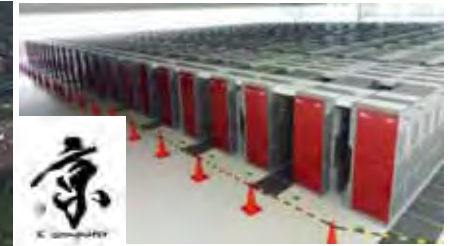


最先端化学

総合科学技術・イノベーション会議 (平成27年9月)



放射光施設



スーパーコンピュータ

提供：理化学研究所・北海道大学 龔劍萍 研究室

日本のポリマー基盤技術は世界のトップレベル

産業応用として、自動車だけでなく、電子機器、ロボット、医療、農業をはじめ広範な分野の課題を一挙に解決

# 「タフポリマー」がクルマを進化させる

車体構造用ポリマー  
(東レ)  
透明ポリマー  
(住友化学)

- 5材料をそれぞれ企業が検討
- 材料の評価を日産自動車が担当

車体構造の強靱化



軽量化・強靱化  
安全性・信頼性

高安全性  
省エネ自動車



タイヤ断面

タイヤの薄ゲージ化

軽量化・省資源

タイヤ  
(ブリヂストン)

燃料電池  
(旭硝子)  
リチウムイオン電池  
(三菱樹脂)

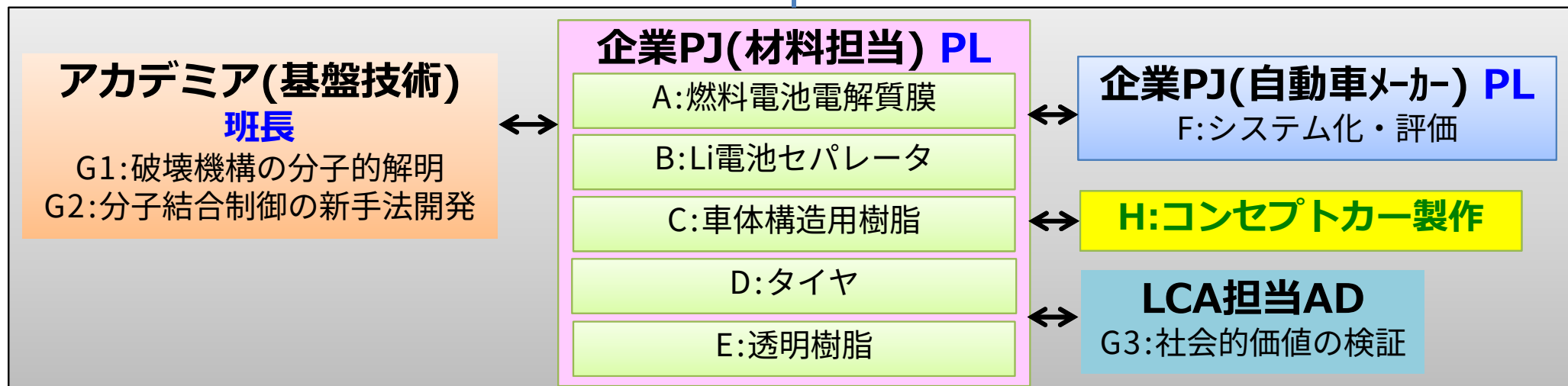
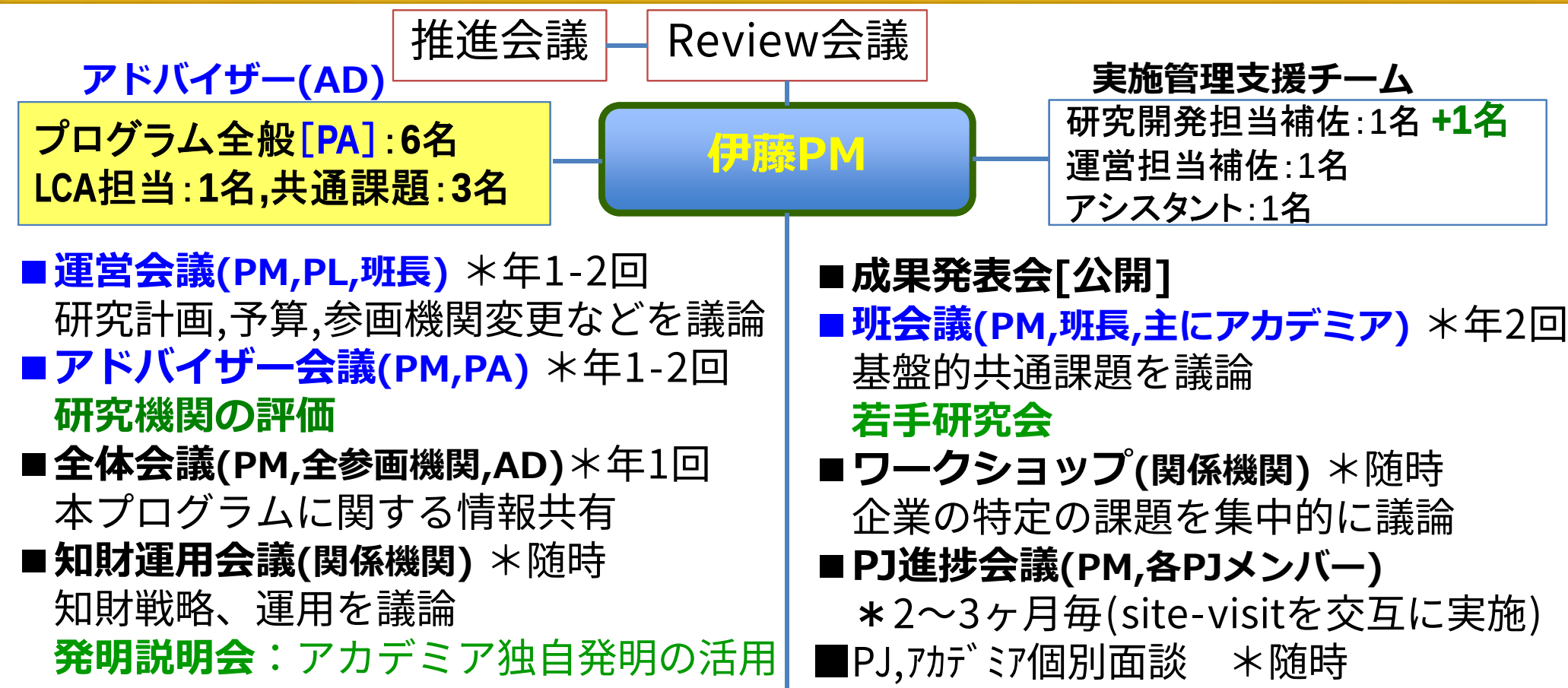


セパレータの薄膜化

高出力・大容量  
小型化

システム化・評価  
(日産自動車)





- マトリックス運営が順調に機能し、顕著な成果に繋がった
- 各PJともに最終目標に近づいており、継続すべき状況である
- アカデミアについては選択と集中を行った

|               |                      | タフポリマー材料開発          |                      |                    |                 |               | 材料評価          | 共通課題解決        |
|---------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| PJ            |                      | 燃料電池<br>電解質膜<br>薄膜化 | Li電池<br>セパレータ<br>薄膜化 | 車体<br>構造用樹脂<br>強靱化 | タイヤ<br>薄ゲージ化    | 透明樹脂<br>強靱化   | システム化・<br>評価  | 横断的<br>共通課題   |
| PL            |                      | 旭硝子<br>立松 伸         | 三菱樹脂<br>玉田 源典        | 東レ<br>小林 定之        | ブリヂストン<br>角田 克彦 | 住友化学<br>北山 威夫 | 日産自動車<br>高木 潔 | 東京大学<br>伊藤 耕三 |
| <b>G1</b>     | 破壊機構<br>の<br>分子的解明   | 高原 淳<br>(九州大学)      | ◎                    | ○                  | ○               | ◎             | ◎             | ◎             |
|               |                      | 高田 昌樹<br>(理化学研究所)   | ○                    | ○                  | ○               | ◎             | ○             | ◎             |
|               |                      | グン 剣萍<br>(北海道大学)    | ◎                    |                    |                 | ◎             | ○             | ◎             |
|               |                      | 岡崎 進<br>(名古屋大学)     | ◎                    | ○                  | ◎               | ○             | ○             | ◎             |
|               |                      | 奥村 剛<br>(お茶の水女子大学)  |                      | ○                  | ◎               |               |               | ◎             |
| <b>G2</b>     | 分子結合制御<br>の<br>新手法開発 | 原田 明<br>(大阪大学)      |                      | ◎                  |                 | ○             |               | ◎             |
|               |                      | 相田 卓三<br>(理化学研究所)   | ◎                    |                    |                 |               |               | ◎             |
|               |                      | 伊藤 浩志<br>(山形大学)     | ◎                    | ◎                  |                 | ◎             |               | ◎             |
|               |                      | 伊藤 耕三<br>(東京大学)     |                      | ◎                  | ◎               | ◎             |               | ◎             |
| コンセプトカー<br>製作 | 東レ・CM<br>白波瀬 徹       | ○                   | ○                    | ◎                  | ◎               | ◎             |               |               |

G3

社会的価値  
の検証材料開発企業  
との連携を  
個別に推進

指名：19機関  
公募：11機関

沢田 英夫  
(弘前大学)

G1

竹内 久雄  
(MCHC/RDSC)

G2

中嶋 健  
(東北大学)

G1

浦山 健治  
(京都工芸繊維大学)

河井 貴彦  
(群馬大学)

G1

梅野 宣崇  
(東京大学)

G1

田中 敬二  
(九州大学)

林 祐樹

(アドバンス・ソフトマテリアルズ)

竹岡 敬和  
(名古屋大学)

瀧宮 和男  
(理化学研究所)

大塚 英幸  
(東京工業大学)

豊田 光紀  
(東北大学)

侯 召民  
(理化学研究所)

山部 昌  
(金沢工業大学)

G1

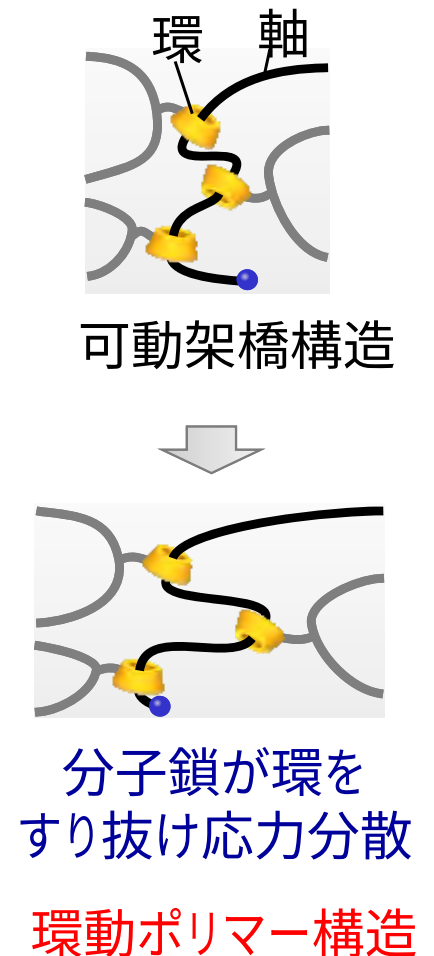
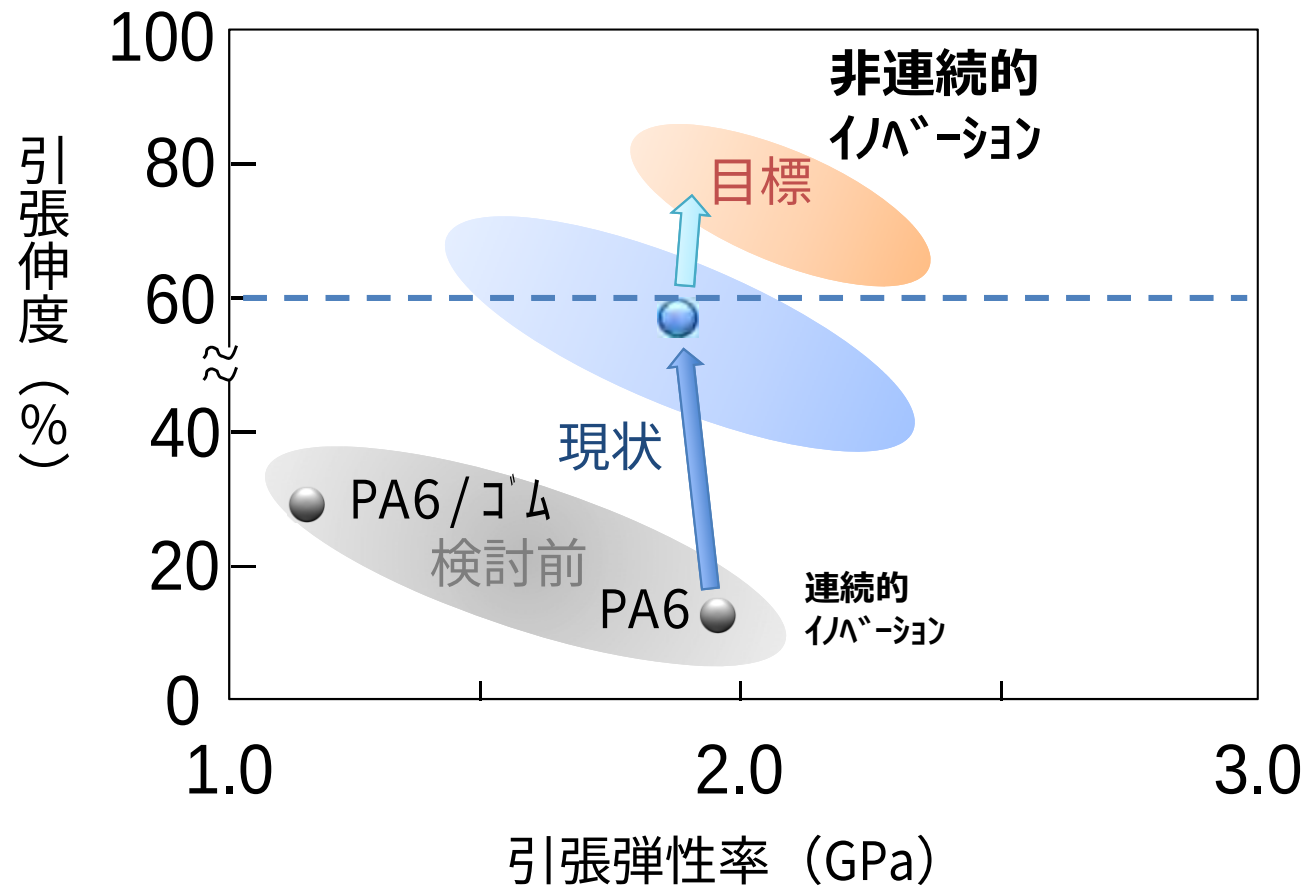
○：マッチング可能性,検討テーマ調整

◎：具体的テーマ検討

# 代表的成果（東レ）

東レ・車体構造用樹脂強靱化

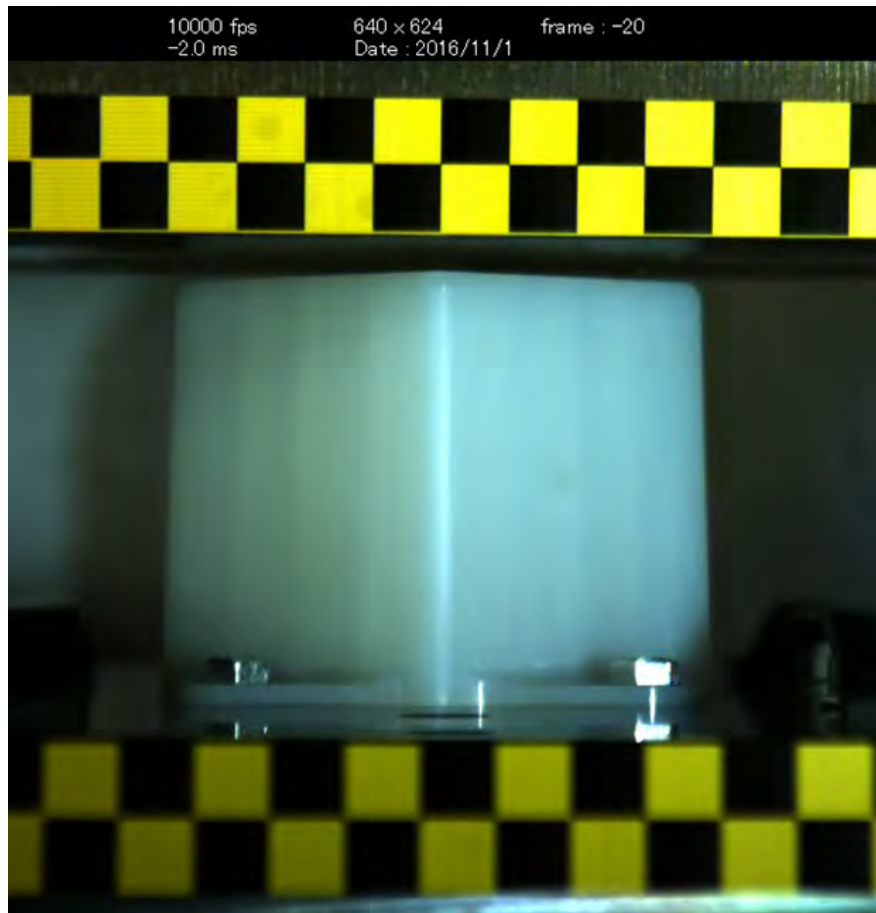
- ◆達成目標 引張弾性率2GPa以上かつ破断伸度80%以上（非強化系）  
破壊靱性値130%（強化系）



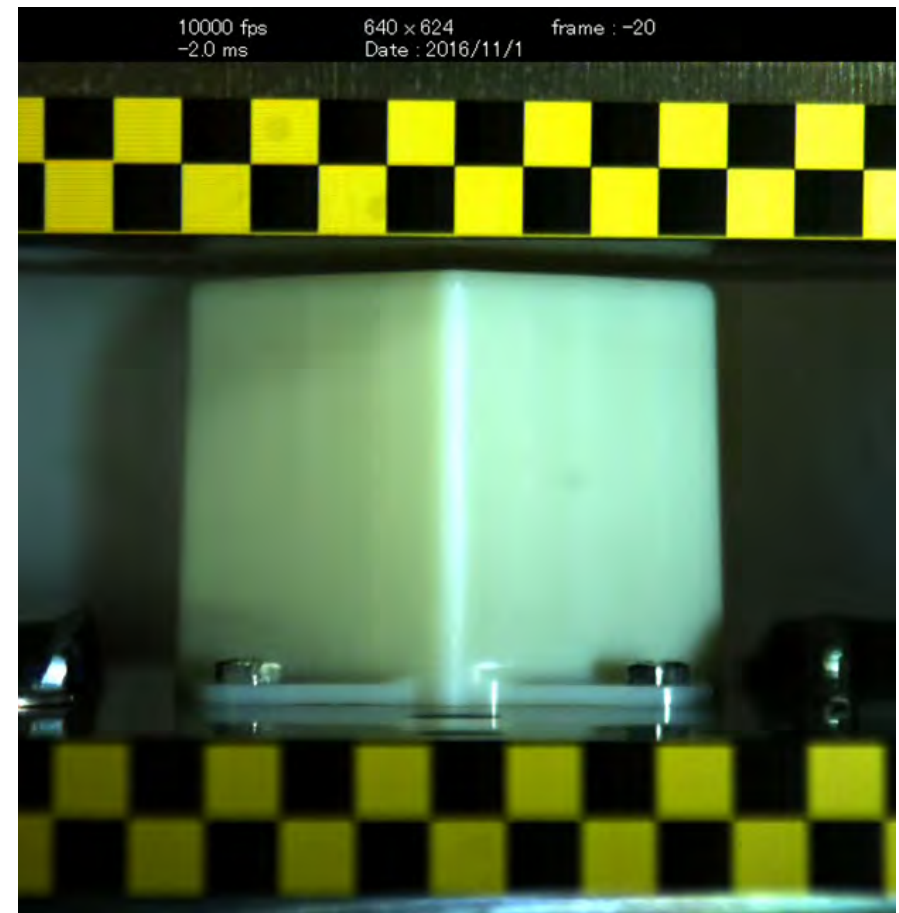
PA6：6ナイロン

\*速度：1000mm/min

ポリアミド



タフポリマー



5%の可動架橋構造の添加により劇的な耐衝撃性の向上



# 落錘評価 (GF強化系)

東レ・車体構造用樹脂強靱化

ポリアミド／ガラス繊維 (30%)



タフポリマー／ガラス繊維 (30%)



複合材料でも顕著な耐衝撃性の向上が見られた

# 代表的成果(ブリヂストン)

## ブリヂストン・タイヤ薄ゲージ化

【最終目標】

ゴム材重量 (基準対比)

▲40%

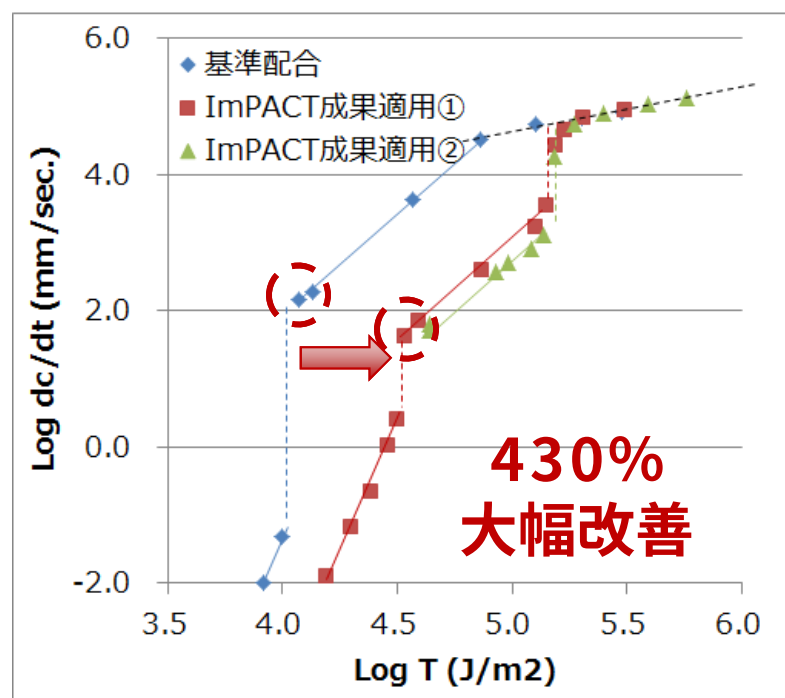
材料の革新的タフ化

タイヤ薄ゲージ化



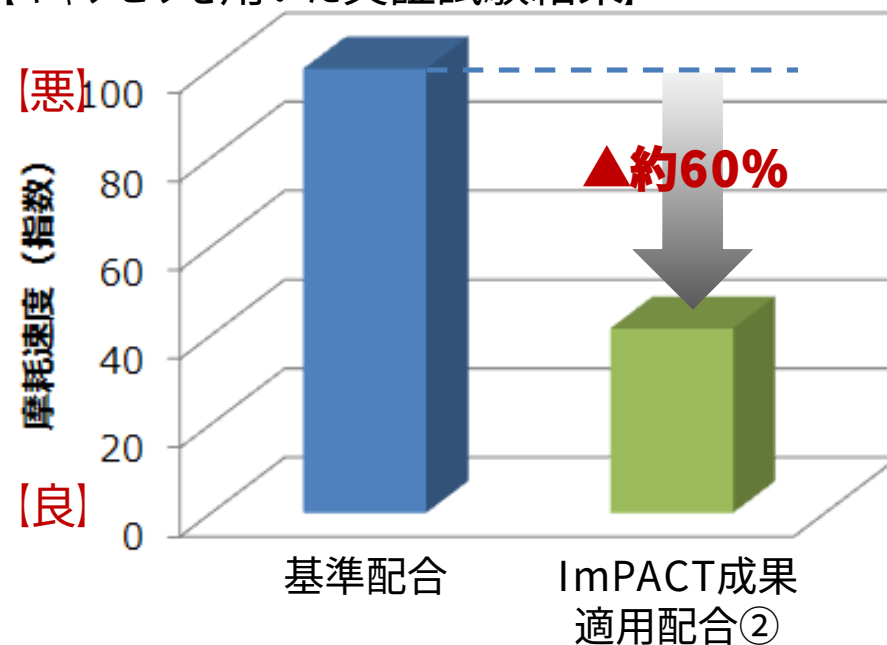
アカデミア指針  
実験・理論・計算  
＋  
ブリヂストン固有  
材料技術

亀裂の進展が高速化するエネルギー（引裂きエネルギー）を大幅に高くする



実証試験

【キャタピラを用いた実証試験結果】



引裂エネルギーが高くなったことで摩耗特性が大幅に改善（耐久性が劇的に向上）

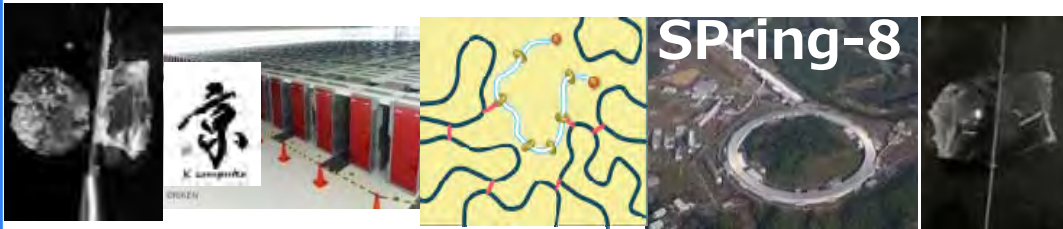
# 伊藤プログラム プログラム変更後の内容(H28.3.24)

## PMの挑戦と実現した場合のインパクト

- 自動車を含む産業分野全般を劇的に変革
- 安全・安心、低環境負荷社会を実現

## 非連続イノベーション

- ・日本の最先端施設と最新化学を融合することで、超薄膜化・強靱化新規分子結合概念に基づく、タフポリマーを実現。
- ・従来技術の試行錯誤的アプローチに代わる計算機科学的アプローチを開発し、飛躍的な開発速度と低コスト化を戦略的・効率的に実現。



計算科学 分子結合 構造解析

## 達成目標

- ・燃料電池電解質膜・LI電池用セパレータの超薄膜化、車体構造用樹脂・透明樹脂の強靱化及びタイヤの薄ゲージ化を実現。
- ・**電池や車体構造のプロトタイプ**を作製。自動車会社における実証実験で産業適用性を検証。
- ・分子設計・材料設計の指針を確立
- ・簡便な強度評価標準試験法と破壊予知・疲労寿命予測法を開発

## ■追加事項

- ・実用性・安全性を備えた**コンセプトカーのプロトタイプ**を製作。タフポリマーの可能性を社会実装で検証する。実証の精度を向上させる為、**車以外の応用展開**を図る。





伊藤PM

コンセプトカー  
東レ・カーボンマジック

デザイン  
IDRデザイン

電気駆動系  
東京R&D

「しなやかポリマー」を活かした  
・デザイン、基本設計  
・設計・製作

アドバイザー  
日産



燃料電池電解質膜  
旭硝子

AGC 旭硝子

Li電池セパレータ  
三菱樹脂

三菱樹脂

構造用樹脂、成型  
東レ

TORAY

CF複合材  
東レ・カーボンマジック

透明樹脂窓  
住友化学

住友化学

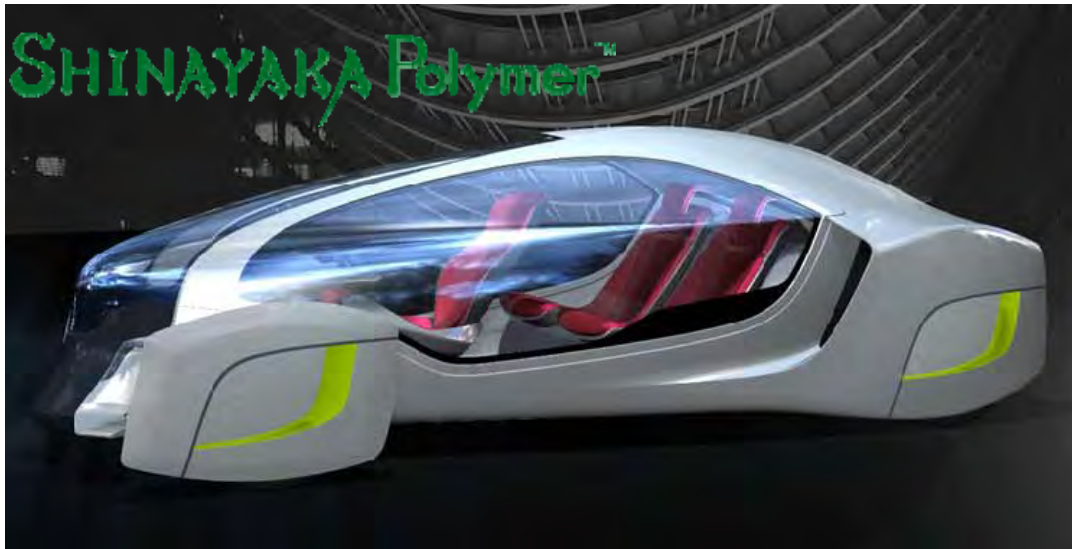
タイヤ  
ブリヂストン

BRIDGESTONE

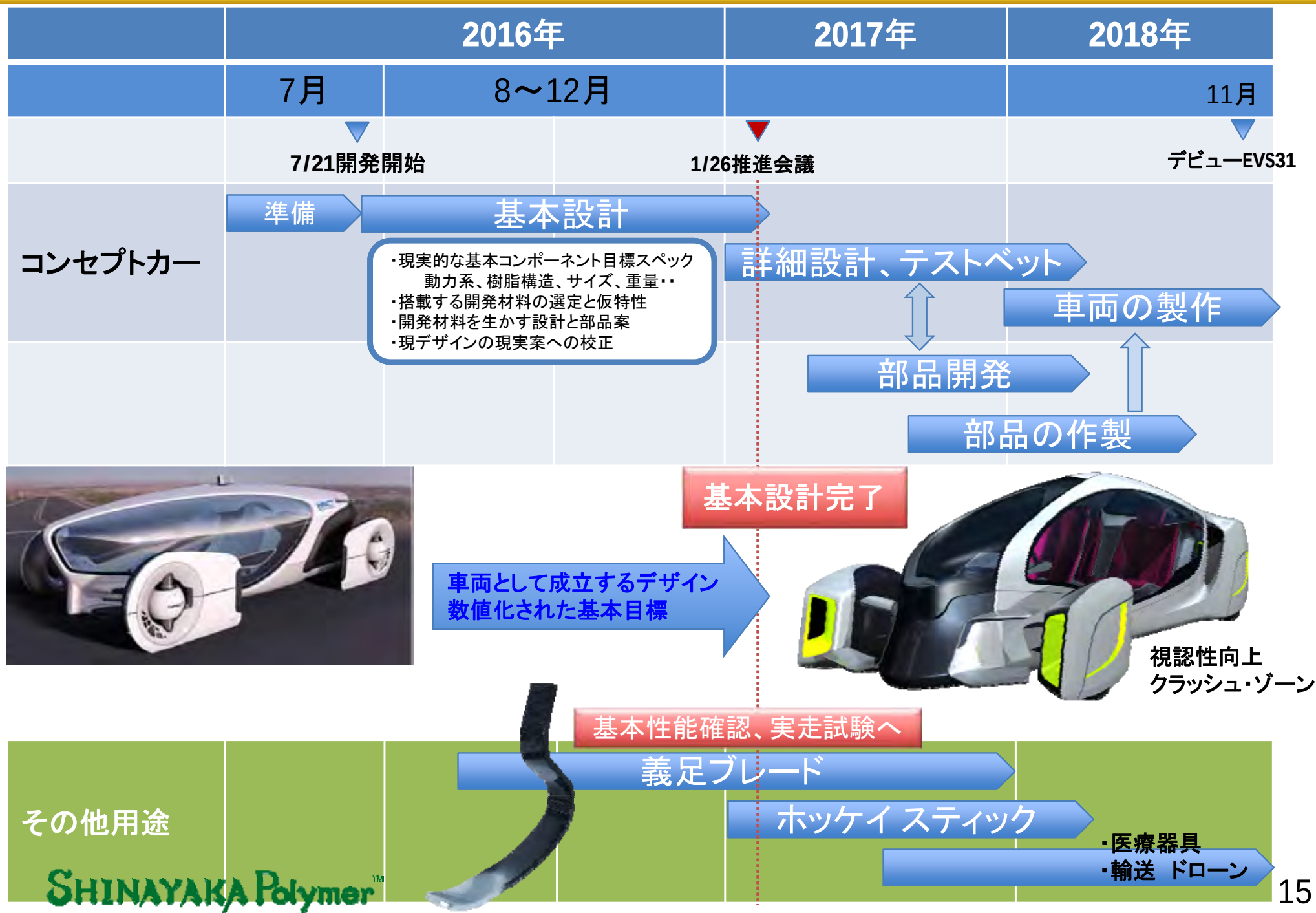
電気駆動系  
東京R&D

アドバイザー  
東大・堀、藤本先生

部品の  
・詳細設計  
・作製









- 追加予算により、  
コンセプトカー製作に加え、「車以外の応用展開」を図る

## ■内容・意義

- ・材料メーカーの開発が加速、コンセプトカー製作に向けた実証確認の精度が向上し、車以外の出口分野に展開可能
- ・タフポリマーの性能・実用性を早期に国民に提示できる

## ■応用展開の内容案

- ①スポーツ・レジャー用品等：自転車(主に競技用)、ゴルフシャフト、釣竿
- ②PC筐体、医療器具、ロボット・ドローン
- ③義足、ベビーカー、車椅子

オリパラ対応

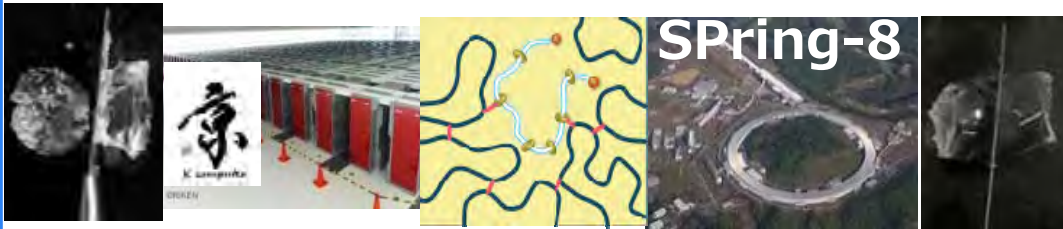
等の材料の軽量化・更なる高強度が重要な分野が候補である

## PMの挑戦と実現した場合のインパクト

- 自動車を含む産業分野全般を劇的に変革
- 安全・安心、低環境負荷社会を実現

## 非連続イノベーション

- ・ 日本の最先端施設と最新化学を融合することで、超薄膜化・強靱化新規分子結合概念に基づく、タフポリマーを実現。
- ・ 従来技術の試行錯誤的アプローチに代わる計算機科学的アプローチを開発し、飛躍的な開発速度と低コスト化を戦略的・効率的に実現。



計算科学   分子結合   構造解析

## 達成目標

- ・ 燃料電池電解質膜・Li電池用セパレータの超薄膜化、車体構造用樹脂・透明樹脂の強靱化及びタイヤの薄ゲージ化を実現。
- ・ **電池や車体構造のプロトタイプ**を作製。自動車会社における実証実験で産業適用性を検証。
- ・ 分子設計・材料設計の指針を確立
- ・ 簡便な強度評価標準試験法と破壊予知・疲労寿命予測法を開発
- ・ 実用性・安全性を備えた**コンセプトカーのプロトタイプ**を製作。タフポリマーの可能性を社会実装で検証、実証精度を向上させる為、**車以外の応用展開**を図る

## ■ 追加事項

- ・ **タフポリマーの分子設計・材料設計指針の汎用性の検証**

～「タフポリマー」の可能性をクルマで示す：社会実装～



**実用性・安全性を備えた未来車のプロトタイプを提示**

実用性：製造,コスト    安全性：運転手,対人

■ DARPA マネジメントの最終段階をプログラム

■ 非連続イノベーションの具現化

＊ **新しい価値の創造**、技術波及効果

＊ クルマメーカーが作らない部材をImPACTで実現

■ 「タフポリマー」で実現可能な素材・部材とその展開を実証

＊ 実用化に向けて、実車スケールで部材を開発

**モノづくりにおける課題を顕在化させ、解決に向け産学の知恵を集結し、実用化への道筋を明らかにする**

- ・ 車体構造用樹脂：熱可塑性樹脂(CFRP),現場重合による一体成型
- ・ 透明樹脂：強化アクリル樹脂,真空成型 → 自由曲面窓
- ・ タイヤ：薄ゲージ→軽量化
- ・ バッテリー：小型化 → 車内空間確保



**プログラムの加速！**

～「タフポリマー」の普及を加速する：社会変革～



- タフポリマー化の分子設計・材料設計指針の汎用性検証
- 高分子破壊標準DBのプロトタイプ構築

■ImPACT成果を残し、次世代に繋ぎ、より発展させる

→継続性ある取組みに向け、基盤作りが現時点で必要

- \* 実験・計算・理論の連携により、「破壊」に関する独自データが集積
- \* タフポリマー実現に向け、分子設計・材料設計の比類のない  
プロトコル(指針・方法論・手法)を確立しつつある

■広く産業界に寄与する可能性の検証(市場規模の拡大)

- \* 対象樹脂の拡大：現行（PMMA, PA, ゴム）+汎用樹脂
- \* 新規企業の参画

■検査・分析の効率化、疲労・劣化予測等、信頼性確立に貢献

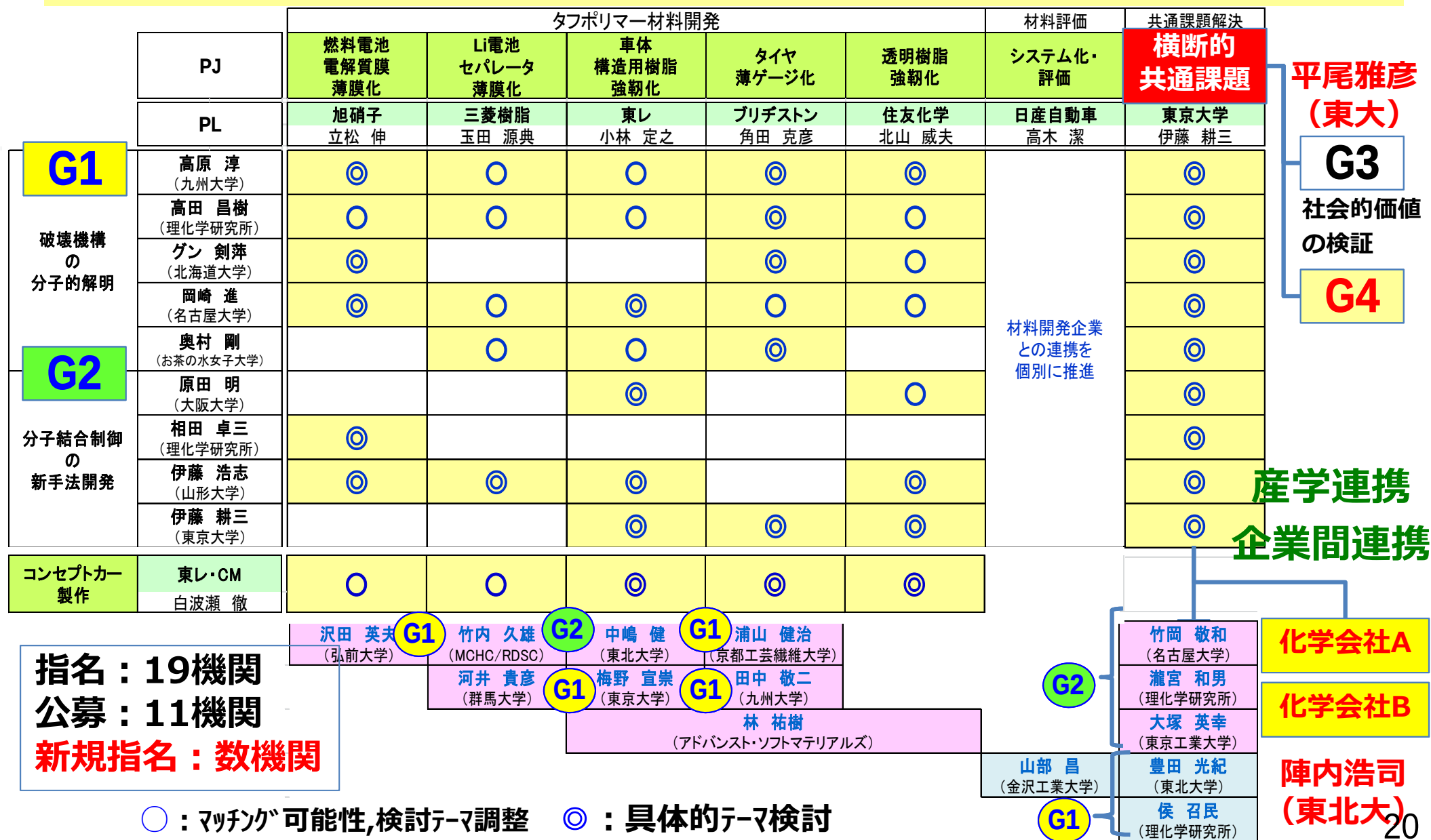
→big-data, DBの扱い →Society5.0推進

- \* SIP、NIMS等との連携

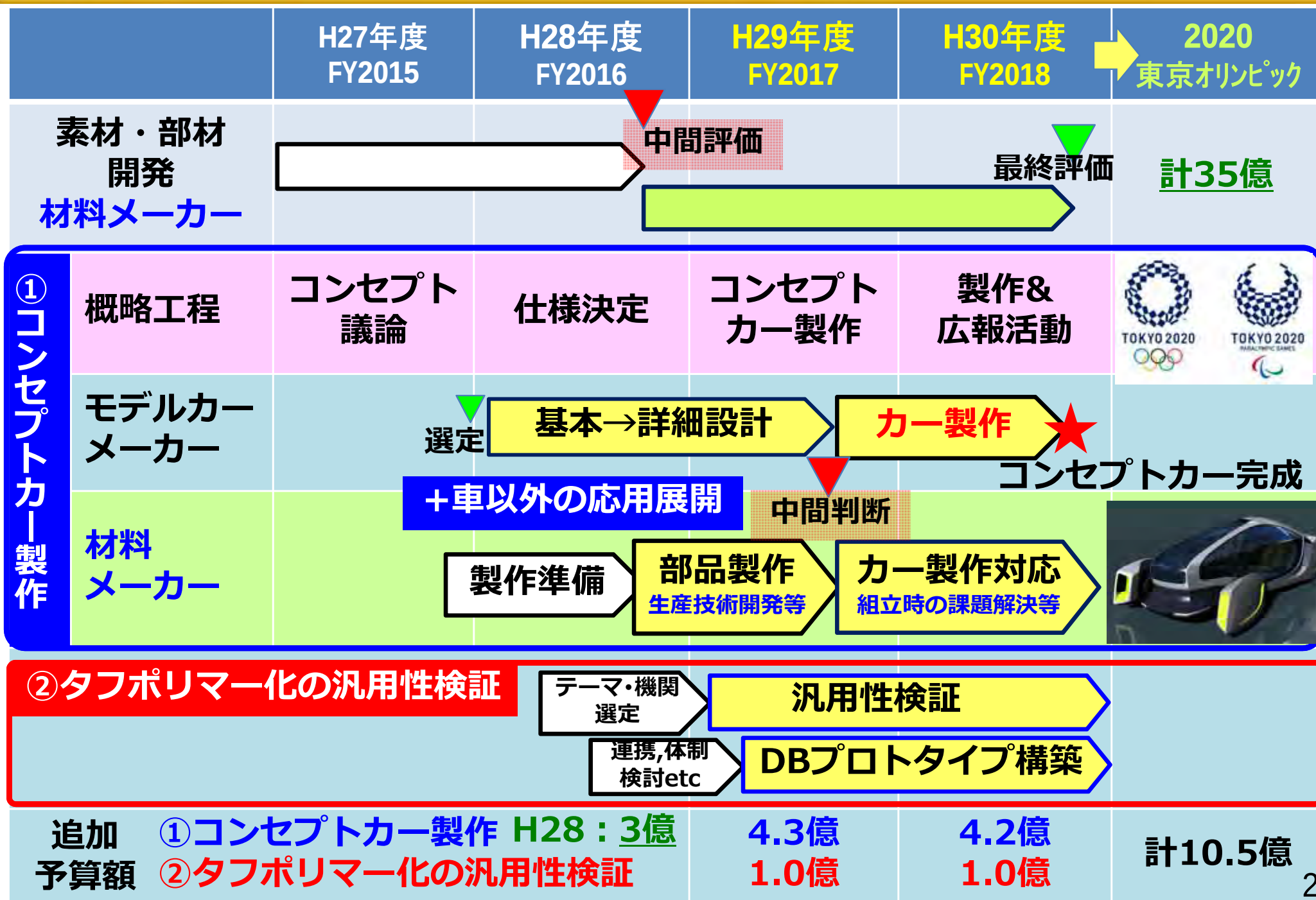
成果の波及の加速！

■ 2016～ 新PJ「コンセプトカー製作」発足：材料開発PJと平行実施

■ 2017～ タフポリマーの分子設計・材料設計指針の汎用性の検証[G4]







## ■ 研究開発状況の総括

- ・ 中間評価に向け、アカデミア連携とともにPJ体制強化により、**各PJに顕著な進捗が見られた**
- ・ 全体として順調以上に推移、各PJとも最終目標に近づいており、**いずれも継続すべき状況である**
- ・ 各材料PJで日産と連携して実証実験に漕ぎ着けている



## ■ 目標の見直し：追加変更

- ① 自動車部品のプロトタイプ作製から、**コンセプトカー製作、車以外の応用分野**に展開中、実用化に向けた研究開発を加速
- ② 対象樹脂を拡大して**タフポリマー化のプロトコル(指針・方法論・手法)**の汎用性を検証、**高分子破壊標準データベースのプロトタイプを構築**、高分子材料の信頼性の確立と成果の普及を加速

## ■ その他の展開

- ・ 特に**パラリンピック**への貢献
- ・ マスターブランド「**しなやかポリマー**」の普及

# PMに係る研究開発機関における研究開発資金の配分変更について

機関の名称、研究者の氏名：アドバンス・ソフトマテリアルズ株式会社、林 祐樹

資金(総額)： 62.3百万円 (22.3百万円の増額)

(当初資金(総額)： 40百万円)

## 変更の理由

アドバンス・ソフトマテリアルズ株式会社(ASM)は、平成26年11月に行われた本プログラムの公募により、平成28年4月から平成30年3月までの計画で研究開発を行ってきた。プログラムの中では、「車体構造用樹脂強靱化」、「タイヤ薄ゲージ化」及び「透明樹脂強靱化」の各プロジェクトに関して、マトリックス樹脂あるいはエラストマーとの相溶性の高い特殊な環動ポリマーの合成とともに、工業生産が実現可能で、将来的にコスト低減化可能な環動ポリマーの量産化プロセスの確立に携わり、順調に進捗している。加えて、今後、各プロジェクトのさらなる進捗に伴い、上記課題の重要性が益々高まることから、プログラム終了期間までの継続が妥当との結論に至った。そこで、来年度以降の期間の予算を追加するため、アドバンス・ソフトマテリアルズ株式会社への配賦金額を当初計画から増額するものである。

## 変更による影響

引き続き、マトリックス樹脂あるいはエラストマーとの相溶性の高い特殊な環動ポリマーの合成とともに、工業生産が実現可能で、将来的にコスト低減化可能な環動ポリマーの量産化プロセスの確立に従事してもらうことで、「車体構造用樹脂強靱化」、「タイヤ薄ゲージ化」及び「透明樹脂強靱化」プロジェクトの最終目標の達成とImPACT終了後の短期間での実用化・事業化への貢献が期待できる。

# PMに係る研究開発機関における研究開発資金の配分変更について

機関の名称、研究者の氏名：京都工芸繊維大学、浦山 健治

資金(総額)： 48.8百万円 (19.8百万円の増額)

(当初資金(総額)： 29百万円)

## 変更の理由

京都工芸繊維大学(浦山教授)は、平成26年11月に行われた本プログラムの公募により、平成27年4月から平成29年3月までの計画で研究開発を行ってきた。プログラムの中では、タイヤ薄ゲージ化プロジェクトにおいて、「エラストマーの非線形粘弾性測定技術」及び「エラストマーにおける亀裂進展モデルの構築技術」に従事してきた結果、当該プロジェクトの成果である「亀裂進展の転移エネルギー大幅向上」に対し重要な役割を果たした。今後、タイヤ薄ゲージ化実現のためには、上記の課題についてさらに深耕する必要があるため、加えて、「亀裂進展機構の解明」や「フィラーとポリマー界面での破壊機構の解明」といった面での貢献も期待されることから、プログラム終了期間までの継続が妥当との結論に至った。そこで、来年度以降の期間の予算を追加する必要があるため、京都工芸繊維大学への配賦金額を当初計画から増額するものである。

## 変更による影響

引き続き、タイヤ薄ゲージ化プロジェクトの担当として、「エラストマーの非線形粘弾性測定技術」及び「エラストマーにおける亀裂進展モデルの構築技術」の検討を継続すると共に、「亀裂進展機構の解明」や「フィラーとポリマー界面での破壊機構の解明」といった課題に従事してもらうことで、当該プロジェクトの研究開発加速、最終目標の早期達成が期待できる。

# PMに係る研究開発機関における研究開発資金の配分変更について

機関の名称、研究者の氏名：名古屋大学、竹岡 敬和

資金(総額)： 47百万円 (21百万円の増額)

(当初資金(総額)： 26百万円)

## 変更の理由

名古屋大学(竹岡准教授)は、平成26年11月に行われた本プログラムの公募により、平成27年4月から平成29年3月までの計画で研究開発を行ってきた。プログラムの中では、横断的共通課題プロジェクトにおいて、ポリマーのタフネス化に必要な共通基盤的な合成技術の開発と、自己修復など新しいタフネス化の手法の開発に従事してきた結果、ポリロタキサン架橋剤を用いた高分子網目の生成、シリカ微粒子の複合化等、強靱性、高伸縮性、自己修復性といったタフネス化に繋がる新手法を見出した。今後、これらの手法を進展させることによって、タフネス化のための基盤技術として確立され、プロジェクトへの貢献も期待できることから、プログラム終了期間までの継続が妥当との結論に至った。そこで、来年度以降の期間の予算を追加する必要があるため、名古屋大学への配賦金額を当初計画から増額するものである。

## 変更による影響

引き続き、ポリマーのタフネス化に必要な共通基盤的な合成技術の開発と、自己修復など新しいタフネス化の手法の開発に従事してもらうことで、タフポリマーの分子設計・材料設計指針の確立と、今後新たに参画する企業との共同研究にも貢献が期待できる。



# PMに係る研究開発機関における研究開発資金の配分変更について

機関の名称、研究者の氏名：東京大学、伊藤耕三

資金(総額)：240百万円（10百万円の増額）

(当初資金(総額)：230百万円)

## 変更の理由

これまで、タイヤ薄ゲージ化プロジェクトでは、特に亀裂の進展に焦点を当てて研究開発を進め、大きな成果を挙げてきた。そこで、今後、本プログラムのSPring-8タフポリマー専用実験ステーションを利用して、亀裂先端におけるポリマーの微細構造変化をリアルタイムで測定することにより、タイヤ薄ゲージ化の実現に向けた研究開発のより一層の加速を計画している。その中で、東京大学は、環動高分子の亀裂の進展について研究開発を行ってきた実績があることから、新たに、SPring-8での上記測定を担当することになり、SPring-8で本測定に従事するRA雇用に係る人件費および測定の経費が必要であるため、東京大学への配賦金額を当初計画から増額するものである。

## 変更による影響

増額によって、SPring-8を利用した亀裂先端でのポリマーの微細構造の変化の測定が飛躍的に進展し、亀裂進展の分子的機構が明らかになるため、タイヤ薄ゲージ化の実現に向けた研究開発が加速する。