

## 研究開発プログラム全体計画

伊藤PM

佐橋PM

佐野PM

鈴木PM

藤田PM

八木PM

山川PM

山本PM



ImPACT Program Manager

伊藤 耕三 Kohzo ITO

1986年 東京大学大学院博士課程修了（工学博士）  
 1986-1991年 通産省工業技術院繊維高分子材料研究所 研究員  
 2003年～東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授  
 2005年～アドバンスト・ソフトマテリアルズ(株)取締役

1999年に、架橋点が自由に動く高分子材料（スライドリング・マテリアル：SRM）を発明。同材料の驚異的なタフネス特性に着目し、2005年にアドバンスト・ソフトマテリアルズ(株)を設立。新材料の開発とともに、事業化に向けたマネジメントにも従事。

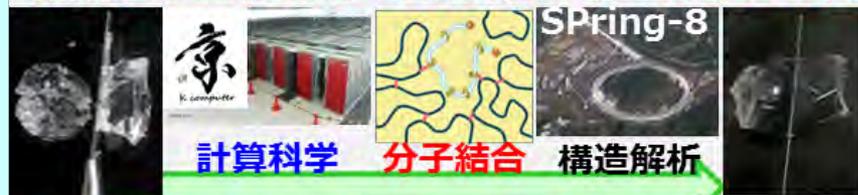
## <研究開発プログラムの概要>

従来の限界を超える薄膜化と強靱化を備えた「しなやかなタフポリマー」を実現。究極の安全性・省エネ自動車の実現など、材料から世の中を変える。

## <非連続イノベーションのポイント>

日本の最先端施設と最新化学を融合することで、新規分子結合概念を既存ポリマーに低コストで導入。超薄膜化・強靱化に基づく革新的な高性能を事業化する際の限界を突破する。

### 新規分子結合概念を既存ポリマーの中に導入



薄膜化・強靱化の限界を突破 ← 低コストでしなやかなタフネス → 短期間での事業化が実現

## <期待される産業や社会へのインパクト>

高信頼性の証であるマスターブランド「タフポリマー」の普及により、自動車を含む産業分野全般を劇的に変革。安全・安心、低環境負荷の社会を実現する。



## 解決すべき社会的課題等

ポリマーのタフネス化・高靱性・自己修復性は、燃料電池やLi電池のセパレータの超薄膜化を通じて飛躍的な高性能化・軽量化・小型化などに寄与するだけでなく、車体構造での強靱化を通じて自動車を始めとする輸送機器の軽量化・信頼性・安全性を飛躍的に向上させる。また、高分子材料が利用されている様々な産業分野で、省資源、省スペース、省エネルギー、高耐久性、高安全性、メンテナンスフリーなどに広範な影響を及ぼす。これにより、我が国の高分子部材分野の世界トップレベルにある産業競争力の維持・強化に貢献するとともに、従来の常識を超えたタフな高分子部材を用いた革新的製品による新規産業の創出などが予想される。

## 解決のためのアイデア

1. 世界トップレベルのアカデミアの最新の研究の知見と、SPring-8や京コンピュータなど大型研究設備を用いて得られる高分子のタフネス化におけるブレークスルーを、高い技術的受容性を有する我が国の企業へ実行可能な知見として引き渡し、企業の高い技術力との融合により速やかに実用化につなげる。
2. 破壊時構造解析と局所的な物性評価ならびに破壊の理論・シミュレーションを組み合わせることで、破壊の分子的機構を解明する。これに基づき、ポリマーをタフにする分子設計・材料設計指針と破壊予知・疲労寿命予測法を確立し、高分子材料の長期信頼性の飛躍的向上を図る。
3. 企業現場での実態を反映したタフネス測定・強靱性評価を簡便かつ短時間で可能とする。このような分子論的破壊理論に裏打ちされた簡便かつ迅速な強度評価標準試験法の開発により、高分子材料開発のスループットが格段に向上し、信頼性や安全性を確保した状態で材料の限界性能を引き出す利用が低コストで実現できる。
4. 独自の合成技術や分子結合技術を開発し、それに基づいた新規分子結合や高次構造設計の概念を導入することにより「しなやかなタフポリマー」を創製し、燃料電池・Li電池の飛躍的な高性能化・軽量化・小型化、車体構造の革新ならびに軽量化および安全性の両立を低コストで実現する。これにより、二酸化炭素排出量の大幅な削減及びポリマーの信頼性・安全性の向上が同時に実現可能となる。

## 達成目標（プログラム終了時の具体的アウトプット）

- ①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する。
- ②電池や車体構造についてプロトタイプを作製し、自動車メーカーにおける実証実験でシステムとしての総合評価及び耐久性評価を行い、産業適用への適合性を評価する。
- ③破壊の分子的機構解明とタフポリマーを実現するための分子設計・材料設計の指針を確立する。
- ④簡便かつ迅速な強度評価標準試験法と様々な環境下での破壊予知・疲労寿命予測法を開発し、高分子部材の長期信頼性を確立する。

## 具体的達成目標の実現に向けた戦略・シナリオ

電池や樹脂などで用途に応じた機能を発現しつつ壊れない「タフポリマー」を実現しようとした場合、現状の試行錯誤的アプローチでは時間がかかり過ぎてトレードオフに陥るリスクがある。またタフネスをもたらすミクロの分子設計とマクロの破壊力学を結びつける破壊の分子理論はまだ未完成であり、タフネスとその他すべての要求条件を満たす高分子材料の創製は一般に極めて困難となっている。これを解決するために、トップレベルの実験・理論の英知を集結し、SPring-8を用いた破壊の時空間階層的なその場観察による現象解明、京コンピュータを用いたシミュレーションなどにより、マクロの破壊挙動理論と分子論的機構解明とをつなぎ、タフネスの本質に迫る。これを世界トップレベルの優れた独自技術と高い技術的受容性を有する我が国の企業へ実行可能な知見として引き渡すことで、タフポリマーを実現するための分子設計・材料設計の指針を確立する。この指針を新規な分子結合と高次構造設計に結びつけることにより、戦略的かつ効率的に革新的概念のタフポリマーを実現するとともに、開発されたタフポリマーの産業適用性を自動車メーカーの観点から検証する。以上により、従来の試行錯誤から脱却して飛躍的な開発速度で理想の材料を追求することが可能となり、他国では簡単に真似のできない斬新な材料開発手法が確立できる。

本研究成果は、高安全性省エネ自動車の実現などにより自動車産業にブレークスルーをもたらすことが予想されるだけでなく、種々の輸送機器、電子デバイス、医療機器などの最先端で用いられる広範なポリマーへの応用展開および波及効果を通じて、LCAの観点から炭酸ガス排出量の大幅な削減や、高分子材料に対する長期信頼性に基づいた安心・安全と低環境負荷社会の実現への貢献が期待できる。

# プログラム構想・全体像の明確化

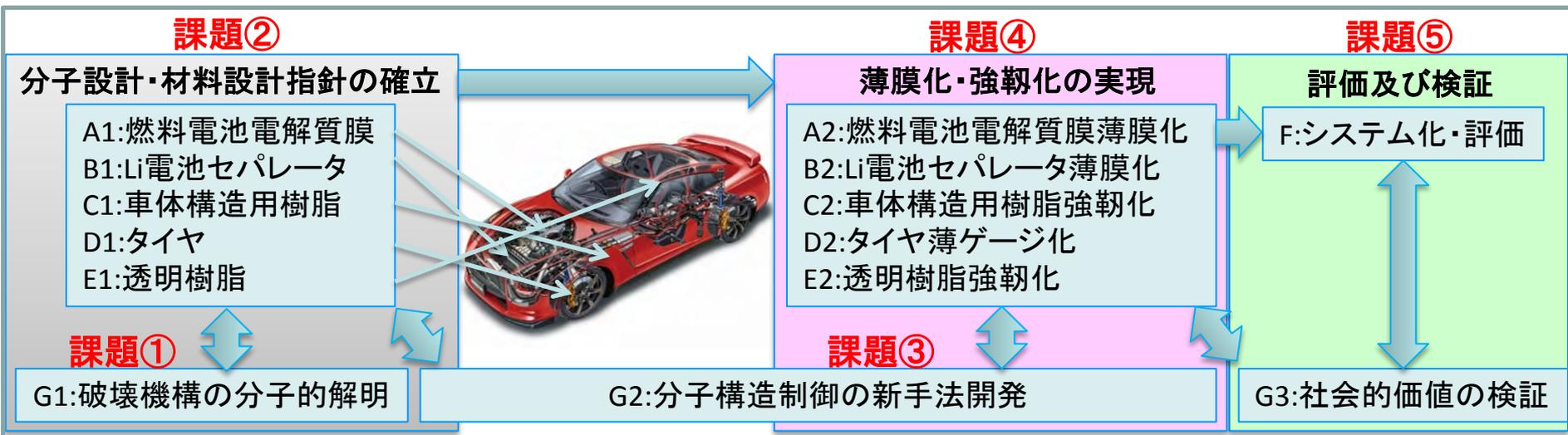
## 戦略・シナリオを克服すべき課題へブレークダウン

- ①破壊の分子的機構の解明と破壊理論の創成：局所的構造解析・物性評価と大規模シミュレーションの組み合わせにより、マクロの破壊挙動理論と分子論的機構解明を結合
- ②タフポリマーを実現するための分子設計・材料設計の指針の確立：上記理論に基づいた普遍的な指針のみならず、それぞれの部材の特徴と機能に合わせた指針へブレークダウン
- ③分子構造制御の新手法開発：上記指針に沿った分子構造制御と高次構造制御の実現
- ④超薄膜化・強靱化タフポリマーの実現：電解質膜など5種類の部材における超薄膜化・強靱化の実現
- ⑤システム化・評価：新規部材の産業適用性と社会的価値の検証

## 克服すべき課題目標の達成アプローチ

- ①SPRING-8に高速破壊試験機などを整備することで、破壊の時空間階層的なその場観察による現象解明を行なうとともに、京コンピュータを用いた大規模シミュレーションを実施。また局所的な応力分布や破壊エネルギーの測定装置を開発・導入し、破壊の分子的機構の解明に必要なデータを蓄積する。実験結果と理論を突き合わせて破壊の分子的機構をモデル化し、マクロな破壊挙動理論を新たに創成する。
- ②燃料電池用電解質膜（ゲル）、Li電池用セパレータ（多孔体）、車体構造用樹脂（熱可塑性結晶性樹脂）、透明樹脂（非晶性樹脂）、タイヤ（非晶性エラストマー）のそれぞれについて、他者に比べて優位性のある独自技術を有する企業とアカデミアが緊密に協力しながら、新規分子構造や高次構造が導入されタフ化された部材と現状の部材の破壊挙動を比較。これにより、それぞれの部材の特徴と機能に合わせたタフポリマーを実現するための分子設計・材料設計の指針を確立する。
- ③上記指針に沿った部材開発を実現するために、分子構造制御に必要な新規分子合成手法の開発と高次構造制御のための新規プロセス手法の開発を行なう。自己修復など新規概念も積極的に導入する。
- ④優れた独自技術を有する企業とアカデミアが以上のPDCAサイクルを短期間で繰り返し回すことにより、各部材の薄膜化と強靱化を飛躍的な開発速度で実現する。
- ⑤上記で開発されたタフポリマーを実際に自動車で使用することを想定した環境下で試験評価を行なうことで、各種タフポリマーの産業適用性を自動車メーカーの観点から検討する。評価に当たっては、ポリマーの供与を受けて車載用システムとして組み上げるところまで含めて実施する。またライフサイクルアセスメントを実施し、社会的価値の検証についても同時に評価する。

# 研究開発プログラム全体構成



## 各克服すべき課題の実施時期

H26

H27

H28

H29

H30

課題①

G1: 破壊機構の分子的解明

課題②

A1: 燃料電池電解質膜  
B1: Li電池セパレータ  
C1: 車体構造用樹脂  
D1: タイヤ  
E1: 透明樹脂

分子設計・材料設計指針の確立

課題③

G2: 分子構造制御の新手法開発

課題④

A2: 燃料電池電解質膜薄膜化  
B2: Li電池セパレータ薄膜化  
C2: 車体構造用樹脂強靱化  
D2: タイヤ薄ゲージ化  
E2: 透明樹脂強靱化

薄膜化・強靱化の実現

課題⑤

G3: 社会的価値の検証

評価及び検証

F: システム化・評価

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクトA1+A2: 燃料電池電解質膜薄膜化

- ・本プロジェクトでは、燃料電池電解質膜(ゲル膜)をタフ化するための分子設計・材料設計の指針を確立し、薄膜化を実現する。
- ・燃料電池用電解質膜としては、フッ素系、エンプラ系、炭化水素系などがあるが、化学的耐久性という点ではフッ素系ポリマーが圧倒的に優れていることから、フッ素系ポリマーの燃料電池用電解質膜について長年の実績があり、特に化学的耐久性という点で他社にない優れた独自技術を有している企業をプロジェクトリーダーとして選定する。選定にあたっては、化学的耐久性の解決という先端研究力・開発遂行力を特に重視して複数の企業を比較した上で、非公募指名とするのが妥当と判断した。



## 選定に至る考え方・理由

### ◆ 選定方法: 非公募指名、研究機関: 旭硝子株式会社

フッ素系電解質膜については、フッ素系モノマーを保有する競合他社でも精力的に研究開発を行なっているが、旭硝子は、電解質材料を含むフッ素系ポリマーの優れた合成技術(例えばクロロアルカリ製造用イオン交換膜用のパーフルオロのアイオノマー製造技術)、独自に開発した燃料電池環境での世界最高の化学劣化防止技術(独自のラディカルスカベンジャー技術)及び、燃料電池としての高度な評価技術を保有している国内企業としては唯一の会社である。化学的耐久性の解決という先端研究力・開発遂行力を特に重視した結果、旭硝子がプロジェクトリーダーとして最適と判断した。

### プロジェクトB1+B2: Li電池セパレータ薄膜化

- ・本プロジェクトでは、Li電池セパレータ(多孔体)をタフ化するための分子設計・材料設計の指針を確立し、薄膜化を実現する。
- ・Li電池セパレータの製造プロセスには、湿式法、乾式法(一体型、貼合せ型)などがある。生産性も含めた低コスト及び環境低負荷という点では一体型乾式法が圧倒的に優れているが、一方で機械強度が低下するというトレードオフの問題がある。タフネスの向上により一体型乾式法で薄膜化が実現すれば、Li電池の分野の他の製造プロセスに比べ最も大きなインパクトが期待できることから、一体型乾式法について長年の実績があり、製造プロセスについて他社にない優れた独自技術を有している企業をプロジェクトリーダーとして選定する。選定にあたっては、セパレータの開拓想像力・製造技術力を特に重視して複数の企業を比較した上で、非公募指名とするのが妥当と判断した。



### ◆ 選定方法: 非公募指名、研究機関: 三菱樹脂株式会社

Li電池セパレータについては、三菱樹脂をはじめ競合数社が精力的に研究開発を行なっているが、他社が従来技術の延長による製造プロセスを採用しているのに対し、三菱樹脂は乾式二軸延伸製法という独自のセパレータ製造技術を開発した唯一の会社という実績がある。これは、三菱樹脂がPETなどの二軸延伸製品を従来より手がけてきたことに由来しており、それに関連した特許では、他社を凌駕しており、特に生産性の高さで優位性がある。また、自動車用Li電池セパレータの分野では他社を上回る技術力を有する。乾式二軸延伸製法の開発によるセパレータの製造という開拓想像力・製造技術力を特に重視した結果、三菱樹脂がプロジェクトリーダーとして最適と判断した。

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクトC1+C2: 車体構造用樹脂強靱化

- ・本プロジェクトでは、車体構造用樹脂（結晶性樹脂）をタフ化するための分子設計・材料設計の指針を確立し、薄膜化を実現する。
- ・熱可塑性の結晶化樹脂では、高剛性と高靱性の両立が一般にきわめて困難である。本課題について長年の研究開発実績があり、他社にない優れた独自技術を用いて解決の方向性が提示できている企業をプロジェクトリーダーとして選定する。選定にあたっては、結晶性樹脂の強靱化における先端研究力・開発遂行力・開拓想像力を特に重視して複数の企業を比較した上で、非公募指名とするのが妥当と判断した。



## 選定に至る考え方・理由

### ◆ 選定方法: 非公募指名、研究機関: 東レ株式会社

高剛性の熱可塑性結晶性樹脂については、化学企業各社が精力的に研究開発を行なっているが、東レは「ナノアロイ®」という独自技術を開発してコンセプト特許を世界で取得した唯一の会社である。またそれを用いて「衝撃吸収プラスチック」の商業化にも成功し、さらに金属代替の自動車軽量化部品での実車搭載試験を実施した実績のある唯一の会社である。本技術に環動ポリマーなどの超分子技術を組み合わせることで、結晶性樹脂における高剛性と高靱性の両立という目標の達成が可能となる。ナノアロイの発明と商品化という先端研究力・開発遂行力・開拓想像力を特に重視した結果、東レがプロジェクトリーダーとして最適と判断した。

### プロジェクトD1+D2: タイヤ薄ゲージ化

- ・本プロジェクトでは、タイヤ（非晶性エラストマー）をタフ化するための分子設計・材料設計の指針を確立し、薄ゲージ化を実現する。
- ・タイヤの薄ゲージ化について長年の研究開発実績があり、またアカデミアとの協働共同力が高く、他社にない優れた独自技術と製造技術を用いて解決の方向性が提示できている企業をプロジェクトリーダーとして選定する。選定にあたっては、タイヤの薄ゲージ化における先端研究力・協働共同力・製造技術力・分析解析力を特に重視して複数の企業を比較した上で、非公募指名とするのが妥当と判断した。



### ◆ 選定方法: 非公募指名、研究機関: 株式会社ブリヂストン

タイヤの薄ゲージ化を含めた軽量化について集中した研究開発を行なっている企業は、ブリヂストンと海外タイヤメーカーの2社のみであり、国内ではブリヂストンのみである。ブリヂストンは、ランフラットタイヤ（パンクしても一定距離走行可能）の分野において国内で圧倒的シェアを占めるなど、破壊防止に関する優れた独自技術を有する国内唯一の会社である。タイヤの薄ゲージ化における先端研究力・協働共同力・製造技術力・分析解析力を特に重視した結果、ブリヂストンがプロジェクトリーダーとして最適と判断した。

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクトE1+E2:透明樹脂強靱化

- ・本プロジェクトでは、透明樹脂(非晶性樹脂)をタフ化するための分子設計・材料設計の指針を確立し、薄膜化を実現する。
- ・代表的な透明樹脂には靱性に優れたポリカーボネート系と剛性に優れたアクリル系が存在するが、高剛性と高靱性を両立する透明樹脂は存在しない。剛性に優れたアクリル系透明樹脂の研究開発について長年の実績があり、他社にない優れた独自技術及び製造技術を有する企業をプロジェクトリーダーとして選定する。選定にあたっては、アクリル系透明樹脂における製造技術力・開発遂行力を特に重視して複数の企業を比較した上で、非公募指名とするのが妥当と判断した。



## 選定に至る考え方・理由

### ◆ 選定方法:非公募指名、研究機関:住友化学株式会社

アクリル系透明樹脂の研究開発は、住友化学をはじめ数社で盛んにおこなわれている。住友化学は、アクリル樹脂のナノコンポジット化の開発を進めており、従来にない高剛性の材料開発の目処がついているだけでなく、アクリル樹脂に関する独自のバルク重合法、熔融押出成形法など数多くの独自技術を有している。この技術に環動ポリマーなどの超分子技術を組み合わせることで、従来にない高靱性を実現するという目標の達成が可能となる。アクリル系透明樹脂における製造技術力・開発遂行力を特に重視した結果、住友化学がプロジェクトリーダーとして最適と判断した。

### プロジェクトF:システム化・評価

- ・本プロジェクトでは、プロジェクトA～Eで開発された部材を自動車メーカーの観点からシステム化・評価し、産業適用可能性を評価する。
- ・燃料電池、Li電池、車体構造用樹脂、タイヤ、透明樹脂の自動車用研究開発について長年の実績があり、他社にない優れた独自技術を有する企業をプロジェクトリーダーとして選定する。選定にあたっては、自動車用部材の開発における先端研究力・製造技術力を特に重視して複数の企業を比較した上で、非公募指名とするのが妥当と判断した。



### ◆ 選定方法:非公募指名、研究機関:日産自動車株式会社

特に電気自動車、燃料電池自動車に代表される電動車両に積極的に取り組んでいる自動車メーカーは国内外に多数あるが、日産自動車は、特に電気自動車に搭載されているLi電池については、材料レベルの要素技術から車両システムまで一貫した技術開発、商品化を行っている唯一の自動車メーカーである。その他の部材のシステム化・評価についても独自技術を有している。自動車用Li電池部材の開発における先端研究力・製造技術力を特に重視した結果、日産自動車がプロジェクトリーダーとして最適と判断した。

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクトG1+G2+G3: 横断的共通課題

- ・「破壊機構の分子的解明」のために、放射光を利用したナノ構造解析や局所的な物性測定、高分子の破壊に関する理論研究と大規模シミュレーションについて長年の実績があり、しかも他にはない優れた独自技術を有する機関を選定する必要がある。選定にあたってコア機関については破壊の構造解析または理論における先端研究力を特に重視して非公募指名で選定し、補完または競合させる機関を公募とするのが適当である。
- ・「分子構造制御の手法開発」のために、特異な分子構造や超分子を用いた材料開発または高分子のプロセス加工技術について長年の実績があり、しかも他にはない優れた独自技術を有する機関を選定する必要がある。選定にあたってコア機関については超分子材料の合成技術または高分子のプロセス技術に関する先端研究力を特に重視して非公募指名で選定し、補完または競合させる機関を公募とするのが適当である。
- ・「社会的価値の検証」については、たとえば材料のライフサイクルアセスメントなどの評価手法について他にはない優れた独自技術を有する機関を選定する必要がある。選定にあたっては、公募とするのが適当である。



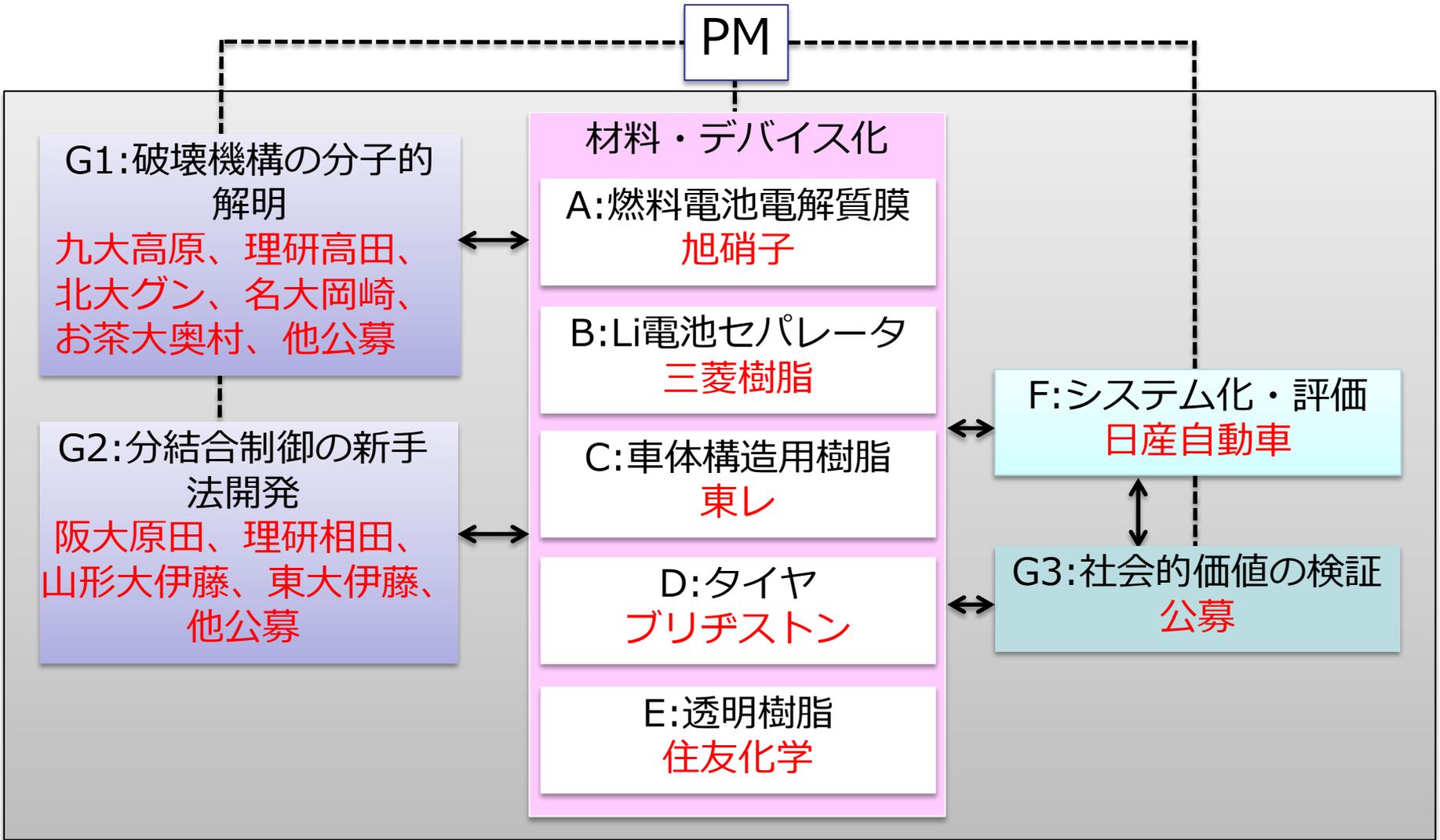
### ◆ 選定方法: 公募

横断的共通課題に関してコア機関を補完または競合させるために、ナノ構造解析や局所的な物性測定、破壊の理論・シミュレーション、フッ素系を含む高分子材料の合成・プロセス技術、コストダウンと量産化検討、社会的価値の検証について独自技術を有する機関を公募する。

## 選定に至る考え方・理由

- ◆ 選定方法: 非公募指名、研究機関: 九州大学(高原淳)、理研(高田昌樹)、北海道大学(グン剣萍)、名古屋大学(岡崎進)、お茶の水女子大学(奥村剛)  
九州大学と理研はSPring-8を用いた高分子の局所構造解析・物性測定の研究で長年の実績があり、それぞれ特に局所物性の精密測定に基づく破壊の機構解明やナノ構造可視化の分野で最先端設備と数多くの先端技術を有する国内唯一の機関である。北海道大学は、高強度ゲルの開発に成功し、犠牲結合の観点から破壊の理論研究を進めている世界で唯一の機関である。名古屋大学は京コンピュータを用いた分子動力学法の並列計算で、世界最高のパフォーマンスを引き出すことに成功し、分子での大規模シミュレーションを可能にしている。お茶の水女子大は、高分子の破壊の理論研究では長年の実績があり、スケーリングなどを用いた解析手法について独自の先端技術を有している。以上の機関については、破壊の構造解析または理論における先端研究力を特に重視した結果、プロジェクトG1の指名機関として最適と判断した。
- ◆ 選定方法: 非公募指名、研究機関: 大阪大学(原田明)、理研(相田卓三)、山形大学(伊藤浩志)、東京大学(伊藤耕三)  
大阪大学と東京大学はそれぞれ、環動ポリマーの原料であるポリロタキサンと環動ポリマーを発明した機関であり、独自のポリロタキサン合成技術、環動ポリマー合成・物性制御技術を有する唯一の機関である。ちなみに超分子材料の先端技術である環動ポリマーは、本プログラムにおける共通基盤的なキーテクノロジーとなっている。理研は、超分子構造を利用して弾力性のある超高吸水性ゲル(アクアマテリアル)を発明した唯一の機関であり、自己修復性を示す超分子材料の合成技術に関する独自の先端技術を多数保有している。山形大学は、高分子のプロセス工学について長年の実績があり、独自に開発したプロセス装置やプロセス技術を有する国内唯一の機関である。以上の機関については、超分子材料またはプロセス技術に関する先端研究力を特に重視した結果、プロジェクトG2の指名機関として最適と判断した。

# 研究開発プログラム全体の体制図



# 研究開発プログラム予算(予定)

H26	H27	H28	H29	H30
<b>研究費総額(3511百万円)</b>				
436百万円	1200百万円	1031百万円	430百万円*	414百万円*

プロジェクトA1+A2: 燃料電池電解質膜薄膜化(503百万円)

- 薄膜化電解質膜の開発 (旭硝子)
- 分析・解析 (九大、理研、北大)
- 理論・シミュレーション (名大)
- 合成・プロセス (理研+公募2件程度)コンペ方式

プロジェクトB1+B2: Li電池セパレータ薄膜化(500百万円)

- 薄膜セパレータの開発 (三菱樹脂)
- 構造解析・物性評価 (九大、理研、東大+公募2件程度)コンペ方式
- 理論・シミュレーション (名大+公募1件程度)
- 合成・プロセス (山形大)

プロジェクトC1+C2: 車体構造用樹脂強靱化(555百万円)

- 強靱化車体構造用樹脂の開発 (東レ)
- 分析・解析 (大、理研)
- 理論・シミュレーション (名大+公募1件程度)
- 合成・プロセス (阪大、東大+公募1件程度)

材料5プロジェクト(A,B,C,D,E)を3プロジェクトに絞り込んだときの平均値

# 研究開発プログラム予算(予定)

