



革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）
「超高機能構造タンパク質による素材産業革命」
有識者会議報告

平成29年8月31日（木）
プログラム・マネージャー
鈴木 隆領

解決すべき社会的課題

原料を枯渇資源に頼った産業構造からの脱却

輸入資源に依存しない次世代素材の開発・
実用化による日本の産業競争力の飛躍的向上

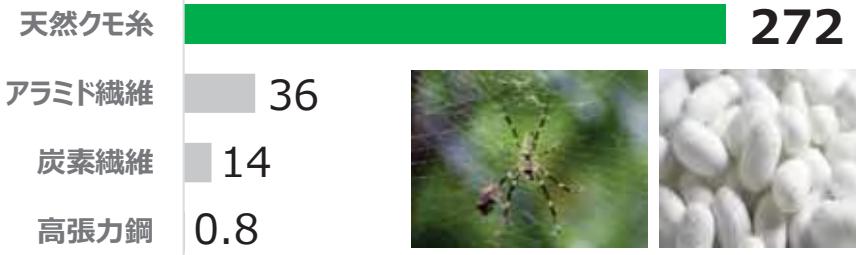
構造タンパク質素材の優位性

既存材料と比較して異次元の性能
(重さあたりのタフネスは鋼鉄の340倍*)

持続可能・低エネルギー生産が可能
(石油や鉱物等の枯渇資源に頼らない)

多種多様な素材を同一原料・
同一プロセスで生産可能

衝撃吸収性 (MJ/m³·ρ)

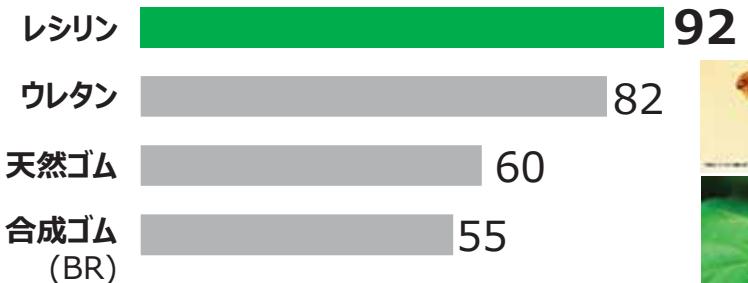


フィブロイン (クモ糸、絹糸、ミノムシ糸)



レシリン (ノミ・バッタの足)

反発弾性率 (%)



高強力・高弾性・低伸度
(炭素繊維、アラミド繊維 等)

強さ

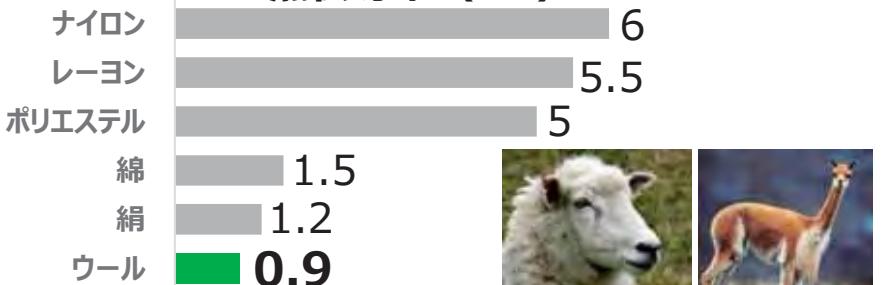
超高タフネス

高伸度・低強度・低弾性
(合成ゴム 等)

伸び

ケラチン (ウール、カシミア)

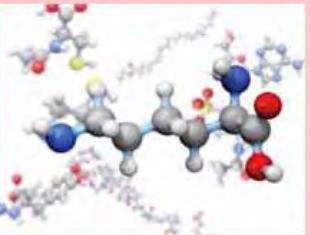
熱伝導率 (cal) ※数値が低いほど高断熱



超高機能発現の構造的メカニズムを解明し、产业化可能なコスト構造での人工生産プロセスを確立できれば
環境性と機能性を両立する次世代の基幹素材産業となり得る巨大なポテンシャルを持つ

克服すべき課題

アミノ酸配列の組み合せは無限大



- ▶ 「高機能性」と「生産性」を両立する新規構造タンパク質分子の探索空間はあまりに広大であり、個別のトライ&エラーによる探索では現実的に達成困難

構造タンパク質を工業用材料として使いこなす技術は世界的に未開拓



- ▶ 天然の構造タンパク質素材は生物が必要とする性能に特化しており、工業用材料として求められる全ての基本性能を満足しない
- ▶ 天然ゆえに化学纖維と比較して均質性の担保が難しく、安定的な量の確保も困難（ゆえにコストも高くなりやすい）

ブレークスルーとなるポイント

天然に存在する高機能構造タンパク質素材の採取



高機能構造タンパク質素材の動的高次構造解析



SPring-8

天然構造タンパク質の高機能発現メカニズム解明

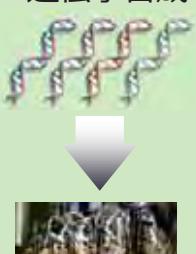
天然構造タンパク質遺伝子情報の網羅的取得・配列解析



次世代シーケンサー

世界初の構造タンパク質統合データベース構築

遺伝子合成



宿主発現系構築・培養



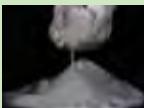
分子デザイン

分野横断的なフィードバック体制による素材性能の“作りこみ”

工業用材料化



素材化



精製

工業用材料用途に適合した人工合成構造タンパク質素材の創出

ImPACTにおける挑戦

構造タンパク質を使いこなすための技術課題を克服することにより

環境対応と超高機能を両立する新世紀日本型ものづくりを実現

ImPACTにおける到達目標

工業用材料利用に適合した
天然を超える性能・機能を実現する
人工構造タンパク質素材の設計・製造

既存材料ではなし得ない高性能を実現する
構造タンパク質素材に最適化した
工業用材料化技術・製品用途の開発

【プロジェクト1】 大規模ゲノム情報を活用した 超高機能タンパク質の設計・製造

～コアテクノロジーの基礎研究・新素材開発～

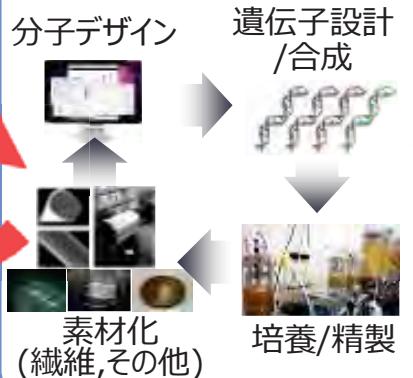
PJ1-①
天然タンパク質の
網羅的解析と高機能
発現メカニズム解明

遺伝子配列解析

動的高次構造解析

構造タンパク質
データベース構築

PJ1-②
天然を超える
超高機能構造
タンパク質素材創出

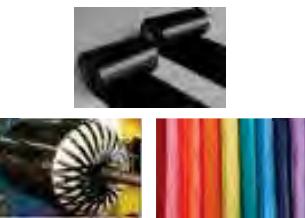


【プロジェクト2】 超高機能タンパク質素材の 成型加工基本技術の開発

～オープンイノベーションによる加工技術・アプリケーション開発～

PJ2-①
バイオ素材の
工業用材料化技術開発

材料化基本工法検討・最適化
 材料サンプル作成/評価
 (業界・用途別)



PJ2-②
デュアルユースを含めた
製品化試作・評価

宇宙関連製品
 防護関連製品
 自動車関連製品
 ゴム関連製品
 アパレル/スポーツ関連製品
 その他業界向け製品



川上分野

超分野横断的フィードバック型研究開発

川下分野

理化学研究所

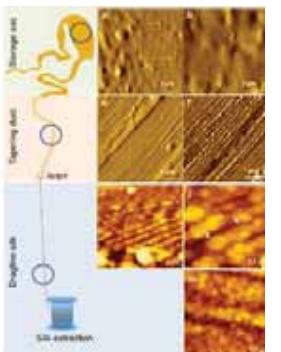
【強み】

- 世界最高性能の大型放射光施設Spring-8に専用ビームラインを有し、構造タンパク質の動的構造解析に最適化した装置を開発／導入



【本プロジェクトにおける実績】

- 天然クモの紡糸メカニズムの解析/解明
- 構造タンパク質の構造解析／定量化：110件（H28年度目標100件）
- 構造タンパク質素材の遺伝子配列と材料特性の相関解析
- 構造タンパク質を化学的に合成する手法の確立



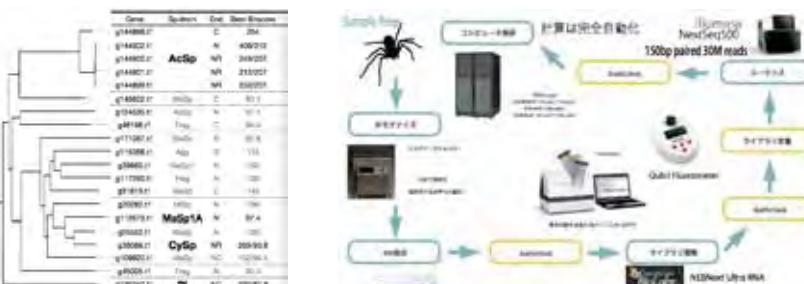
慶應義塾大学

【強み】

- 実験科学(サンプルから遺伝子抽出等)と情報科学(遺伝子配列解析等)の全ての実験・研究を1拠点完結で一貫して実施可能
- 次世代シーケンサーから得た繰り返し配列の多く含まれる遺伝子データを高精度でアセンブルする為の専用アルゴリズムを開発

【本プロジェクトにおける実績】

- 配列データのアセンブルを自動化、処理時間を1/4に短縮
- クモ糸における新規タンパク質の発見とその遺伝子配列の同定
- 遺伝子配列解析：900件（H28年度目標500件）



Spiber

【強み】

- 構造タンパク質の発酵生産に合わせた遺伝子の改変・組換え独自技術（900を超える遺伝子合成実績・ライブラリ保有）
- 遺伝子設計・合成～発酵生産～纖維化の全生産プロセスを1拠点完結で一貫して行える世界唯一の組織

【本プロジェクトにおける実績】

- 構造タンパク質原料の生産性向上
- 構造タンパク質原料の生産コスト低減
- 構造タンパク質纖維の機械特性向上

ImPACT開始時とのH28年度末比較

生産性

14倍

生産コスト

95%削減

強度向上

5倍

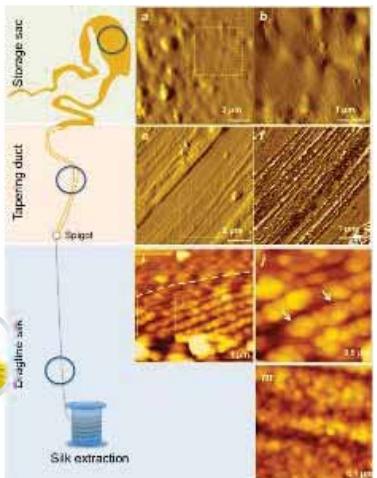


機械特性 (強度・タフネス)

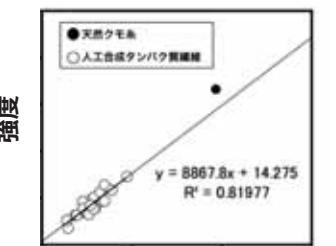
天然クモ糸の紡糸プロセス・強度発現メカニズムに基づく人工纖維化プロセスの改善



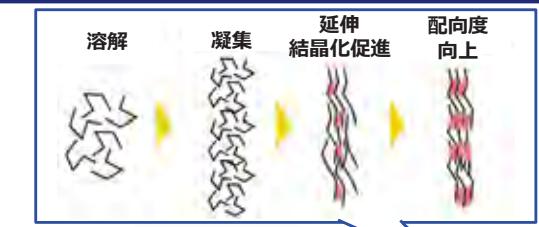
天然クモの紡糸プロセス解明



結晶構造と物性の相関解析/
天然と人工の結晶構造比較



天然から得た
知見を
紡糸プロセスに
フィードバック



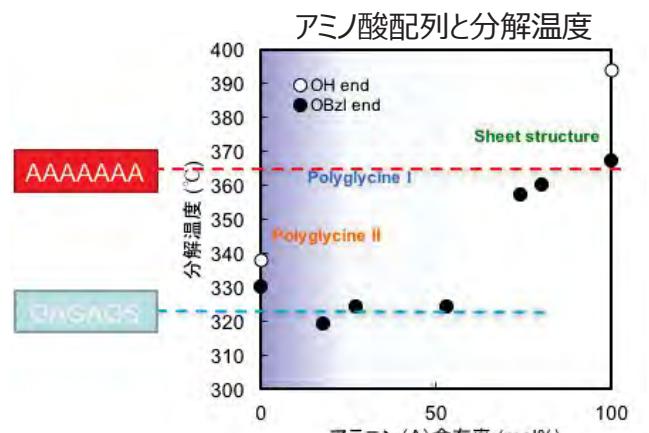
※ ImpACT開始(H26年末)の
強度からの倍率



紡糸プロセスの改善による纖維物性の向上

耐熱性

アミノ酸配列による熱特性への影響の特定・把握と耐熱性新規分子の設計・合成



アラニン含有率と分解温度との相関把握

天然から得た
知見を
新規分子設計に
フィードバック

熱的特性の向上に向けたアミノ酸配列の改変

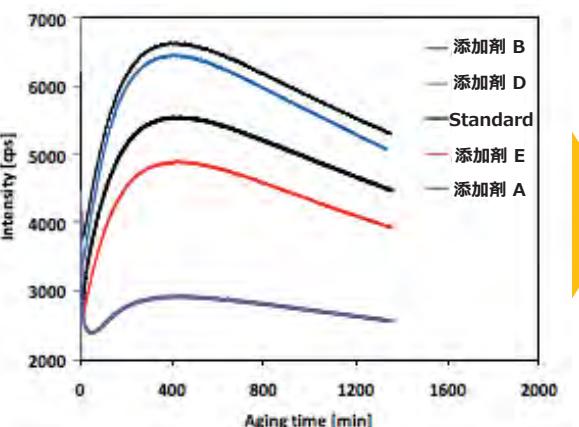


アミノ酸含有率の改変による熱的特性向上を確認

→ 耐熱性と生産性を両立する分子設計について継続検討中

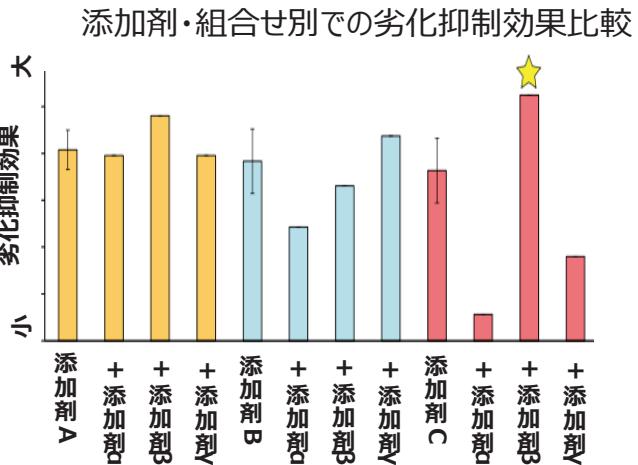
耐劣化性

▶ 構造タンパク質素材の劣化による物性低下を抑制する添加剤の選定



構造タンパク質素材の劣化指標の策定/
ハイスループットな劣化評価用装置の開発

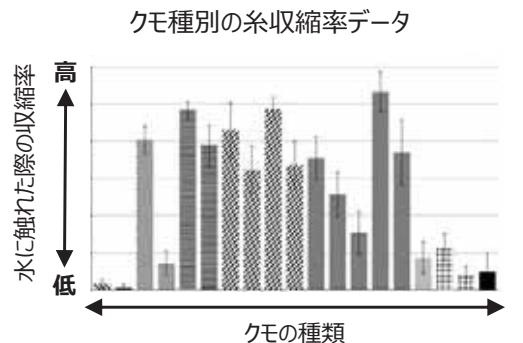
構造タンパク質に最適な
安定化剤の網羅的スクリーニング



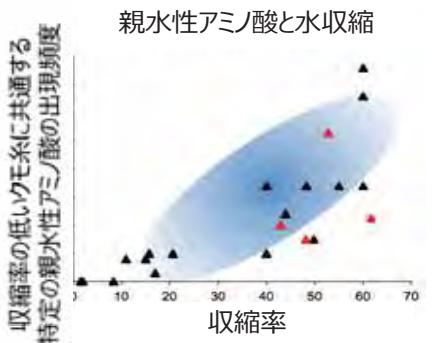
構造タンパク質の劣化抑制に有効・
最適な添加剤・組合せを特定

耐水性

▶ 親水性アミノ酸の置換による耐水化新規分子の設計及び生産

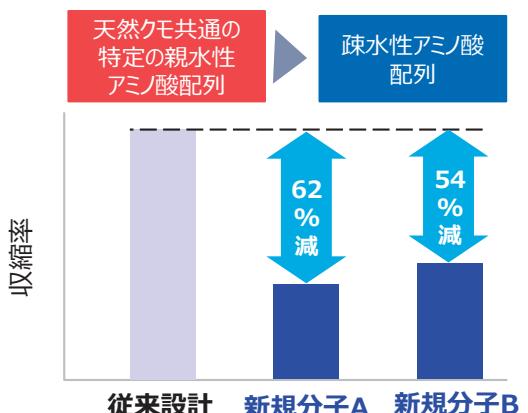


天然クモ種類別の水接触時の
収縮率データの網羅的取得



アミノ酸配列と収縮率の
相関解析

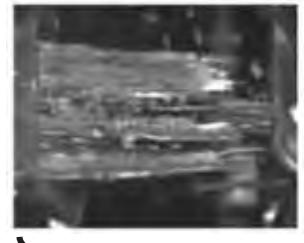
天然から得た
知見を
新規分子設計に
フィードバック



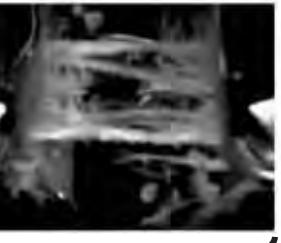
親水性アミノ酸を疎水性アミノ酸に
置換した新規分子により収縮率大幅改善

構造タンパク質纖維の特徴（平成27年度までの基礎評価結果）

PP+炭素纖維



PP+ガラス纖維



PP+
人工構造タンパク質纖維



炭素纖維
+エポキシ積層体



人工構造タンパク質纖維
+エポキシ積層体



フィラーと樹脂の密着が悪く
爆発するように破断／破断時に樹脂飛散

フィラーと樹脂の密着性が高く
一体のまま粘って破断／
破断時の樹脂飛散が少ない

層間剥離が数多く発生

層間剥離なし

早期実用化を目指した アプローチ

既存の高機能素材とハイブリッド化することで構造タンパク質纖維の特長・性能を新たに付与したこれまでにない工業用材料とその加工方法を開発

構造タンパク質 纖維形態

長纖維

短纖維

撚り糸

ナノファイバー

不織布

織物

編物

ハイブリッド 対象素材

炭素纖維

アラミド纖維

ガラス纖維

ナイロン

ポリエステル

マトリクス樹脂

熱硬化性樹脂

熱可塑性樹脂

合成ゴム

天然ゴム

材料成形

圧縮成形

射出成形

積層加工

フィラメントワインディング

オートクレーブ

SMC

BMC

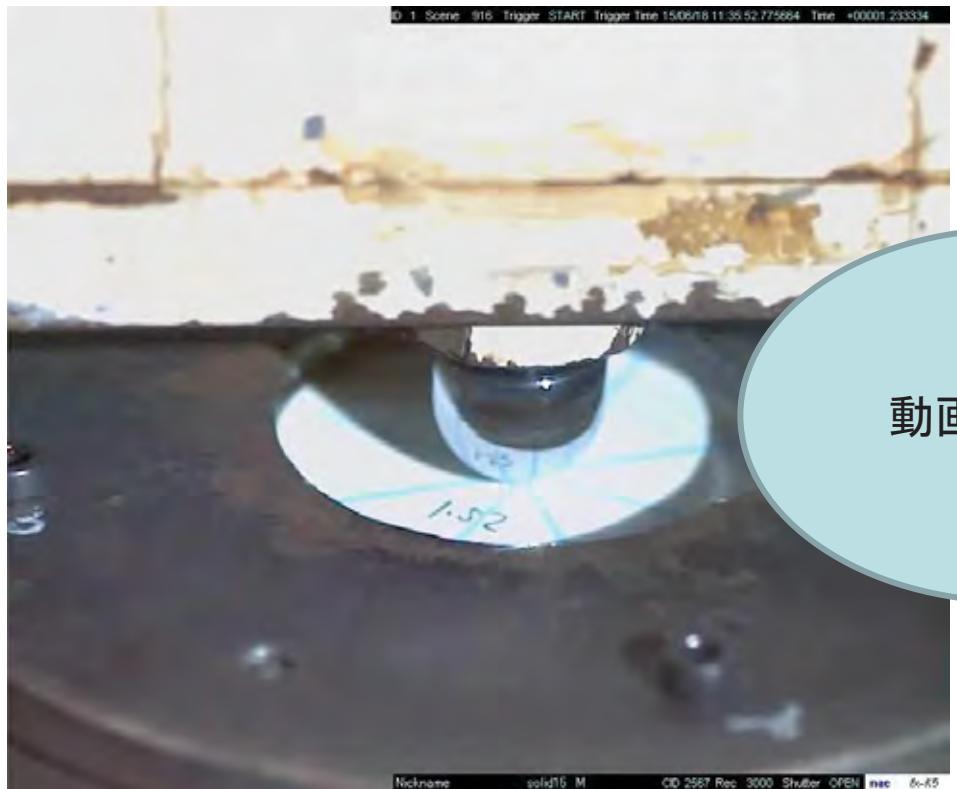
RTM



デュポン衝撃試験

断面構成

従来材料のみ ($t=1.5$)



断面構成

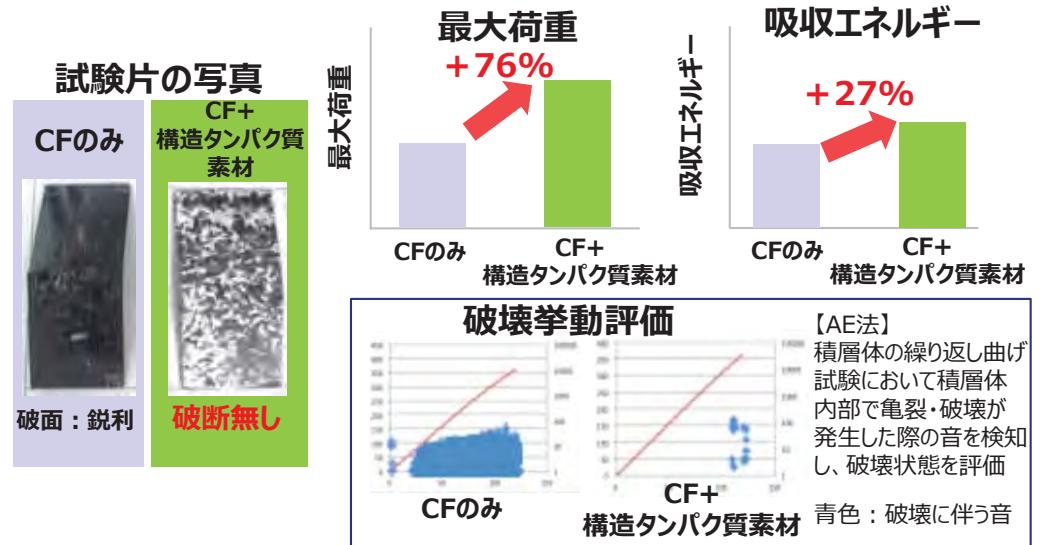
従来材料+人工構造タンパク質纖維 ($t=1.5$)



平成28年度までの材料開発における主な成果

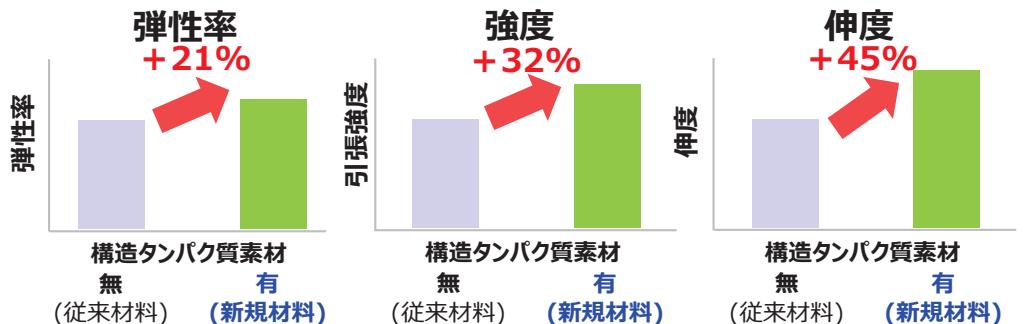
積層工法で製造した複合材

- 最大荷重、吸収エネルギーが増加し、複合材の破壊挙動も改善



圧縮成形で製造した複合材

- 弾性率、強度、伸度のいずれも従来材料と比較して大幅向上



構造タンパク質素材を適用した新規材料に関する特許7件出願済・出願中

平成29年度以降の製品化試作ターゲット

過酷な環境でも壊れない・軽い人工衛星部材



薄くて軽い、薄くても安全な次世代自動車ボディ



しなやかで切れにくいゴム製品



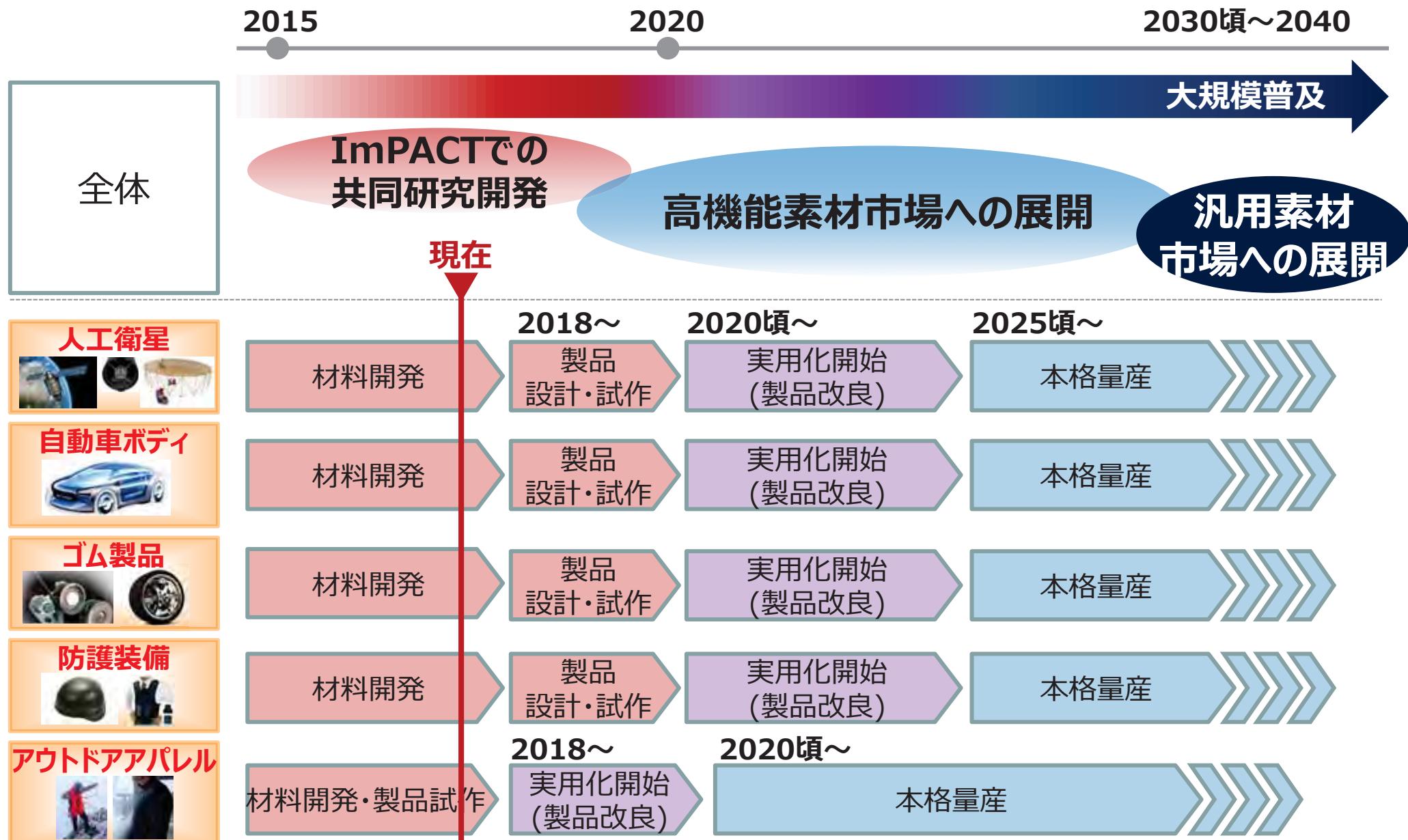
高い防護性と機動性を両立した防護装備

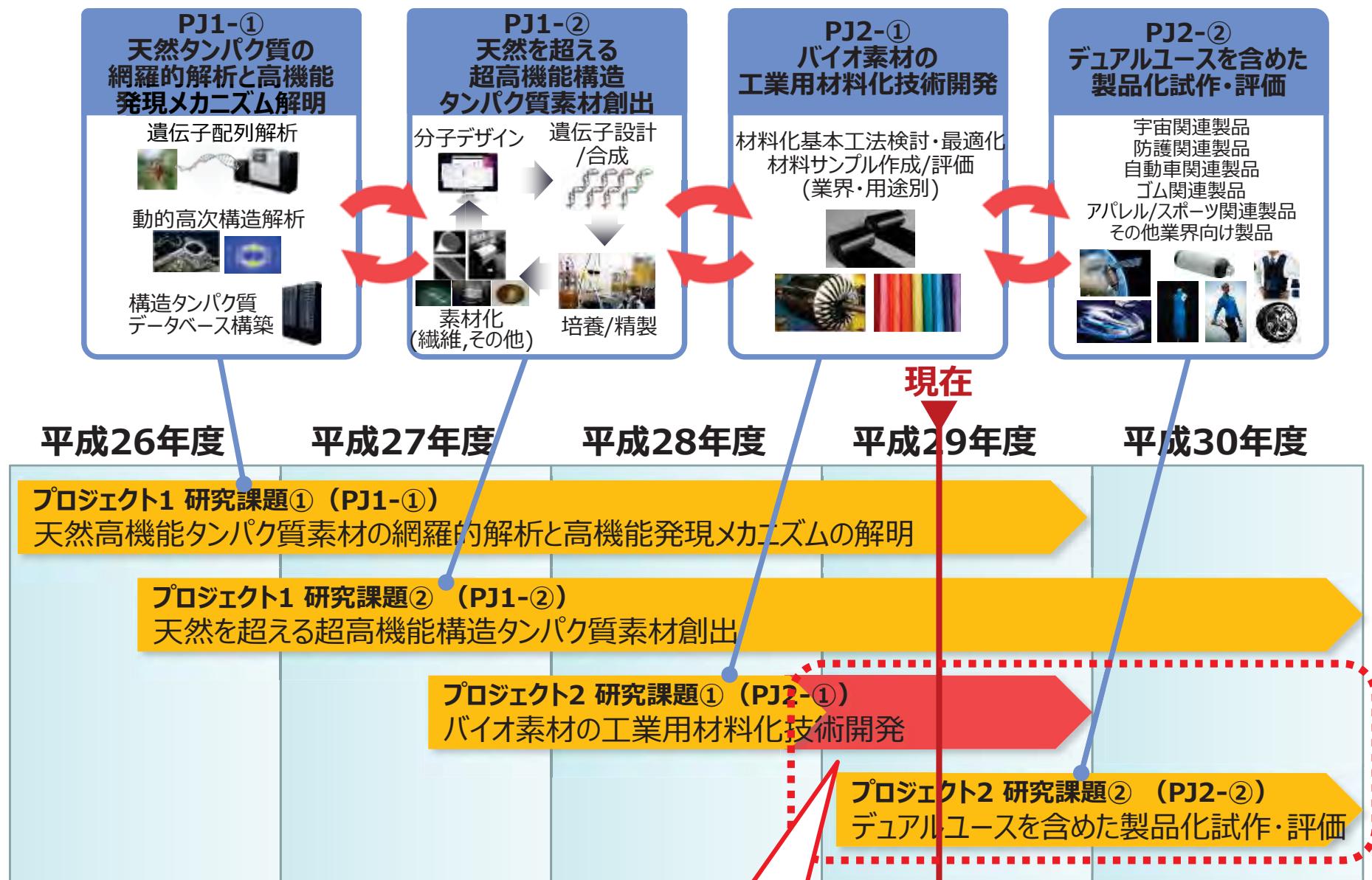


機能性と着心地の良さを両立するアウトドアウェア



- 先ずは高機能素材市場をターゲットとして構造タンパク質新素材の材料/アプリケーション開発を進め、いち早く実用化・普及拡大にこぎ着けることを目指す





➤ 平成29年度も新素材を用いた材料開発(PJ2-①)を継続しながらアプリケーション開発(PJ2-②)と融合させ、シームレスに展開させていく

- 本研究開発プログラムにおけるこれまでの研究開発成果を牽引力として、今後の実用化・事業化を見据えた民間企業とのコラボレーション体制を構築
 → 製品化試作・評価を進める開発体制を当初予算に追加なしで今後更に拡充予定

追加/変更する研究開発機関

株式会社ブリヂストン

株式会社小糸製作所

株式会社ゴールドワイン

カジニット株式会社

上記以外のプロジェクト2に参画するすべての企業

参画形態及び資金負担

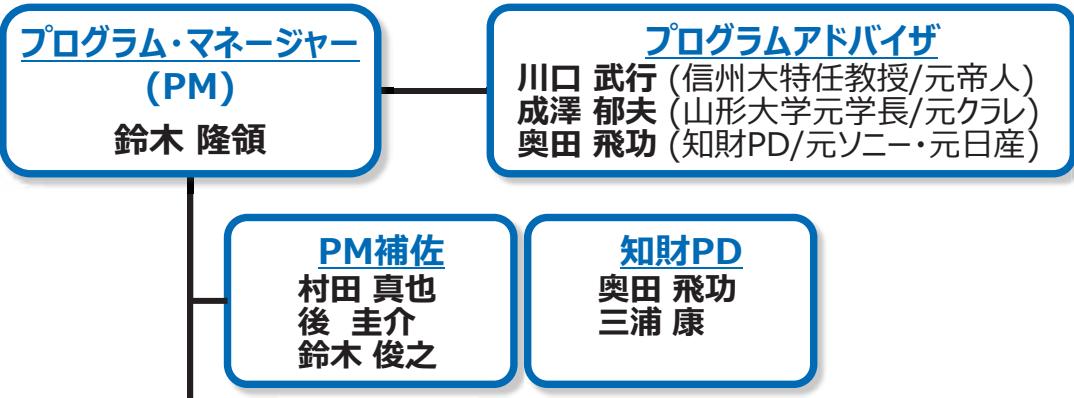
➤ 平成29年度(2017年7月)より協力研究参画機関として新規参画
(研究開発費を全額自己負担)

➤ 平成29年度以降は協力研究参画機関として継続参画
(研究開発費を全額自己負担)

➤ 平成29年度も委託研究参画機関として継続参画するも、すべての企業が人件費部分は自己負担する予算計画に見直し

企業:18社、アカデミア:9機関

■ : 委託研究開発機関
■ : 協力研究開発機関



【プロジェクト1】 大規模ゲノム情報を活用した超高機能タンパク質の設計及び製造

【PJ1-①】
天然高機能タンパク質素材の網羅的
解析と高機能発現メカニズムの解明

PJ1-①リーダー
沼田 圭司 (理化学研究所)
荒川 和晴 (慶應義塾大学)

理化学研究所
慶應義塾大学
Spiber

【PJ1-②】
天然を超える超高機能
構造タンパク質素材創出

PJ1-②リーダー
菅原 潤一 (Spiber)

Spiber

東京農工大学

奈良先端科学技術大学院大学

北陸先端科学技術大学院大学

室蘭工業大学

テクノハマ

鶴岡工業高等専門学校

農研機構

岡山大学

【プロジェクト2】 超高機能タンパク質素材の成型加工基本技術の開発

【PJ2-①】
バイオ素材の
工業用材料化技術開発

PJ2-①②リーダー
用途領域毎に配置

スーパー・レジン工業

バンドー・化学

ブリヂストン

住友ベークライト

トヨタ紡織

内浜化成

小島プレス工業

TBカワシマ

小糸製作所

カジナイロン

長谷虎紡績

カジレーネ

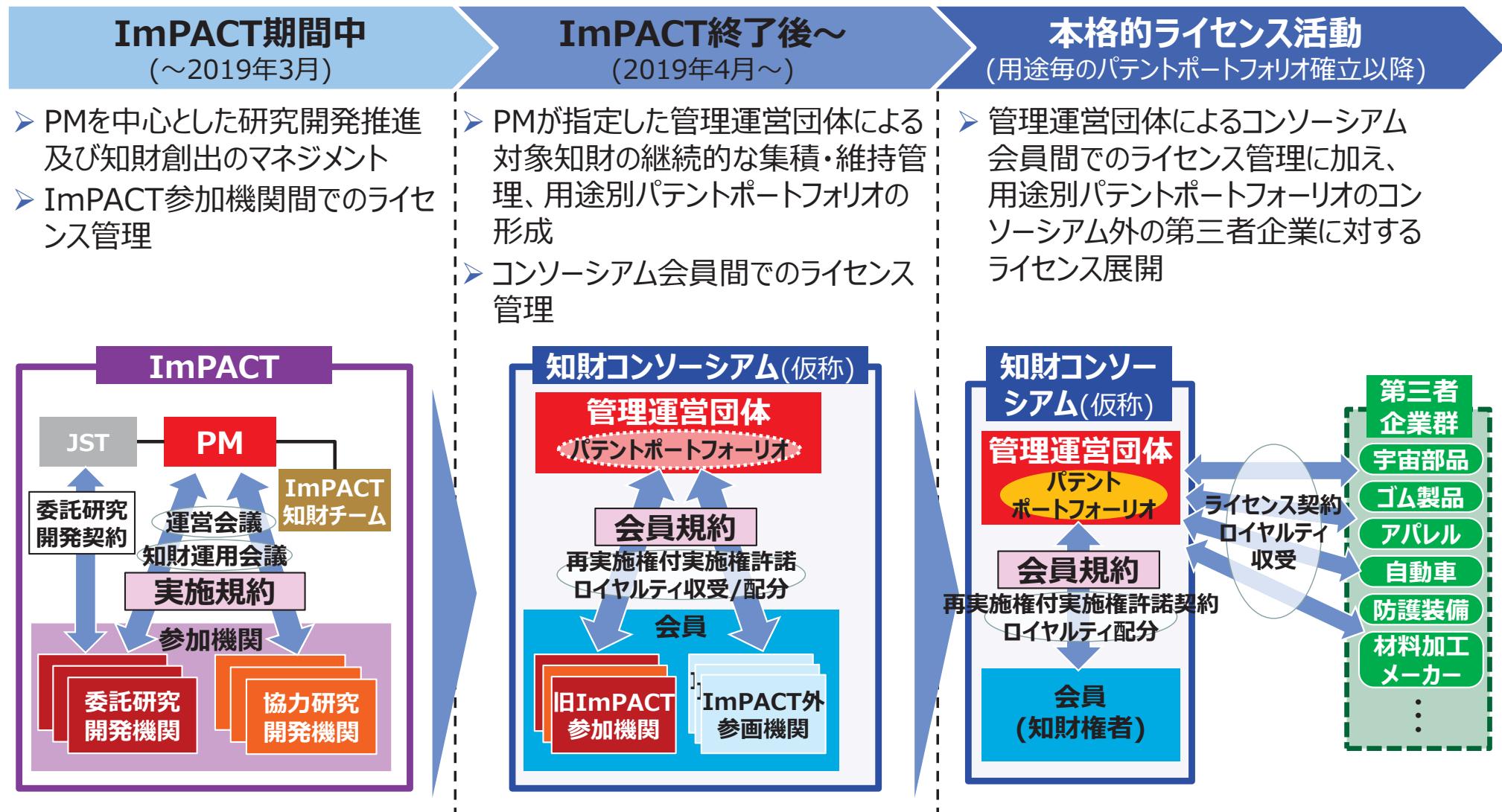
ゴールドウインテクニカルセンター

カジニット

ゴールドウイン

小松精練

- ImPACTで創出した知財群をテコにImPACT終了以降もオープンイノベーションを継続・促進し、新素材の普及・産業展開を進める基盤となる知財コンソーシアムの構築に向け現在準備を進行中



End of File