超高機能構造タンパク質による素材産業革命

ImPACT Program Manager

鈴木　隆領　*Takane SUZUKI*

1982年　静岡大学工学部　卒業
1987年　小島プレス工業株式会社　入社
2010年　同社 開発担当 取締役
2014年～ ImPACT ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ･ﾏﾈｰｼﾞｬｰ

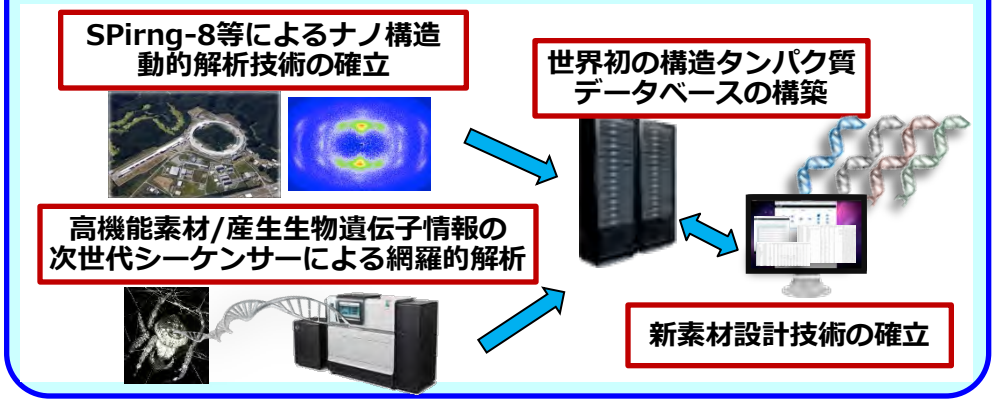
研究開発部・生産技術部において、30年以上ものづくりをベースに、国内外のニーズ、技術動向を見据えた先行開発・事業化を推進。同社生産技術とアカデミアが持つ先端基盤技術、中小企業が持つ加工技術等を融合し、研究開発活動をマネジメント。生産技術の最高の賞である「大河内記念生産特賞」の受賞に貢献。

＜研究開発プログラムの概要＞

構造タンパク質の異次元性能発現メカニズムの解明・基盤技術群を確立し、重さ当たりの強靭性が鋼鉄の３４０倍のクモの糸を超える高機能構造タンパク質を素材として自在に生産可能にする。

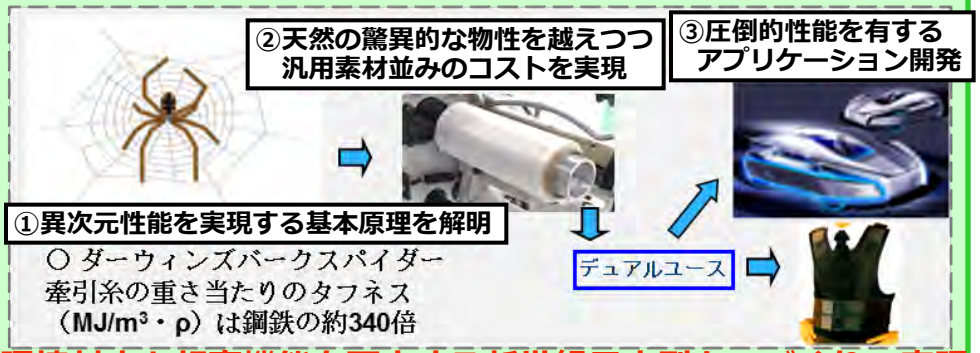
＜非連続イノベーションのポイント＞

我が国が誇る世界最先端の高次構造解析技術、CS/IT、遺伝子工学、合成生物学、材料科学、生産技術等を集結し、オールジャパン体制で未だ人類がなし得ていない超高機能構造タンパク質素材の産業化に向けた技術的障壁群を全面突破する。



＜期待される産業や社会へのインパクト＞

歩行者にケガをさせない超衝撃吸収自動車ボデーや次世代超軽量防弾装備等、ものづくりの概念を一変させる可能性を持つとともに、資源制約からの解放を実現する。



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の実現

研究開発プログラムのシナリオ

解決すべき社会的課題等

課題１：　原料を枯渇資源に頼った産業構造からの脱却
課題２：　圧倒的な強靭性と軽量性を兼ね備えた次世代素材の開発・実用化による我が国の産業競争力の飛躍的向上

解決のためのアイディア

「異次元の性能」、「優れた環境性」、「設計は自由自在」、「革新的なコスト構造」を兼ね備えた構造タンパク質素材を実用化することが、前述の課題を解決するための切り札になる。その実現に向けて、以下を達成する必要がある。

解決案1　遺伝子組み換え技術を利用したタンパク質素材の自由な構造設計
➔【天然高機能タンパク質の網羅的解析と高機能発現メカニズムの解明】
クモ糸をはじめとした天然に存在する構造タンパク質を網羅的に取得し、遺伝子配列の同定、物性測定及び構造解析を行った後、データベース化することによって、構造タンパク質の高機能発現メカニズムを明らかにする。

➔【天然を超える超高機能構造タンパク質素材の創出】
前項で得られた知見及びデータベースを活用し、天然を超える超高機能構造タンパク質を人工合成することによって、新規構造タンパク質素材の創出を行う。

解決案2　超高機能性タンパク質素材の創出及び、次世代輸送機器部材、防弾防護服等の開発
➔【タンパク質素材に特化した加工技術の開発】
タンパク質素材を加工する際に影響を及ぼす可能性のある要因を特定し、タンパク質素材に特化した加工技術を開発する。

達成目標

達成目標（プログラム終了時の具体的アウトプット）

- 数万トン規模の生産・工業用材料として使用可能なコストでの生産が可能であることを説明できるエビデンスを得る
- 天然最高物性（強度1.6 GPa、タフネス 354 MJ/m3）を上回る超高タフネス材料を試作実証
- 従来品と比較して軽量且つ耐衝撃性を有する自動車外板用パネルの試作実証
- 従来品と比較して軽量且つ高い防弾性能を有することを実弾試験により実証

具体的達成目標の実現に向けた戦略・シナリオ

- ✓ 高機能構造タンパク質素材を産生する生物から、当該素材及びその遺伝子を網羅的に取得し、基本的な成分分析や構造解析を行いデータベース(DB)化、さらに高機能を発現する分子メカニズムを解明し、それらの知見・データを活用して天然を超える「超高機能タンパク質素材」の創出を試みる。
- ✓ 上記を実現するために、我が国が誇る世界最先端の技術・知見を有する研究開発機関・企業を指名・公募により選定し、それぞれが持つ技術を互いに補完し合いながら、オールジャパン体制で効率的・効果的な共同研究開発を推進する。
- ✓ 構造タンパク質を産業的に利用する上で不可欠な要素技術の開発及び既存材料ではなし得ない圧倒的性能を実現する複合材料の試作、及び実現可能性検討を行なう。
- ✓ 構造タンパク質素材の成形加工技術の開発、及びデュアルユースを含めたアプリケーションの開発に主眼を置いて進める一方で、素材の目的用途および将来の事業性も考慮しながら川上分野・上流領域に対して分野横断的にフィードバックする研究開発体制を構築する。

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

【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
【PJ1-②】　天然を超える超高機能構造タンパク質素材の創出
【PJ2-①】　バイオ繊維の加工技術及び複合化技術の開発
【PJ2-②】　繊維以外の構造タンパク質の加工技術開発
【PJ2-③】　デュアルユースを含めた製品化試作・評価

克服すべき課題目標の達成アプローチ

【PJ1-①】 クモ類、昆虫類のシルクを中心に、天然に存在する高機能構造タンパク質を実際に収集し、基本的な組成分析や構造解析、物性測定を行なうとともに、対象生物より遺伝子情報を取得し、タンパク質の配列を決定し、データベース化を進める。さらに、高機能発現のメカニズムを解明するためのin-situの分析技術を確立して解析をすすめ、高機能発現のメカニズムを解明する。それらの詳細解析のデータも含めて構造タンパク質の統合データベースを構築し、新素材開発に活用する。

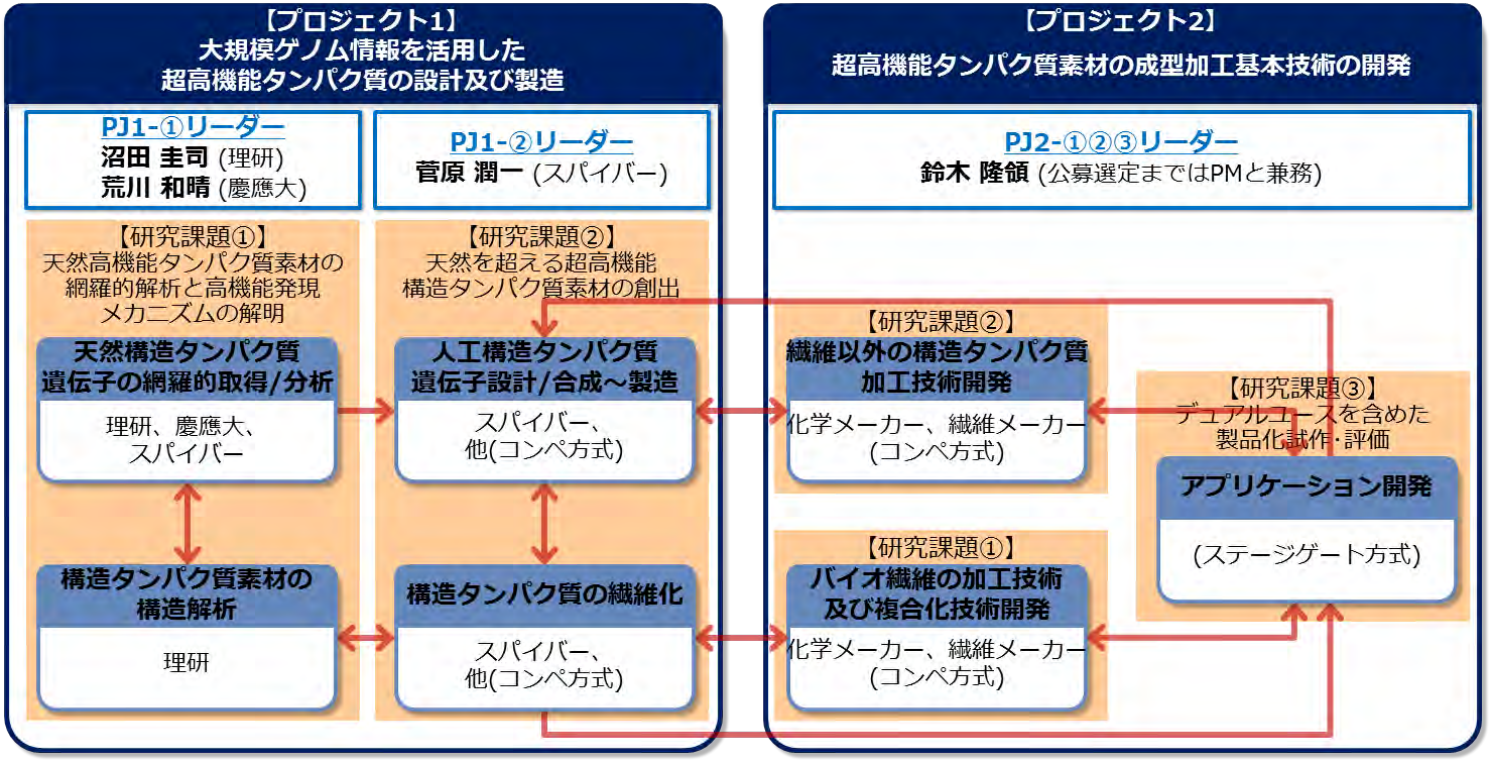
【PJ1-②】 PJ1-①で蓄積された知見及び構築されたデータベースの情報を活用し、天然を上回る性能を発揮することが可能な超高機能構造タンパク質を創出する。また、PJ1-①で蓄積された多角的な分析手法のノウハウを駆使し、当該高次構造を実現可能な紡糸加工技術を開発するとともに、生産性と高性能を両立する人工遺伝子を設計、合成、分析、評価を繰り返えすフィードバックシステムの両輪で開発を進めることで、天然を上回る性能と高い生産性を両立する実現する次世代超高機能素材を開発する。

【PJ2-①】 他材料との複合化検討など、タンパク質を産業的に利用するための基礎となる要素技術の開発を行なう。プロジェクト前半では超高機能タンパク質素材が開発途上であるため、絹糸等類似している既存のタンパク質素材などを用いて先行的に技術開発を進める。

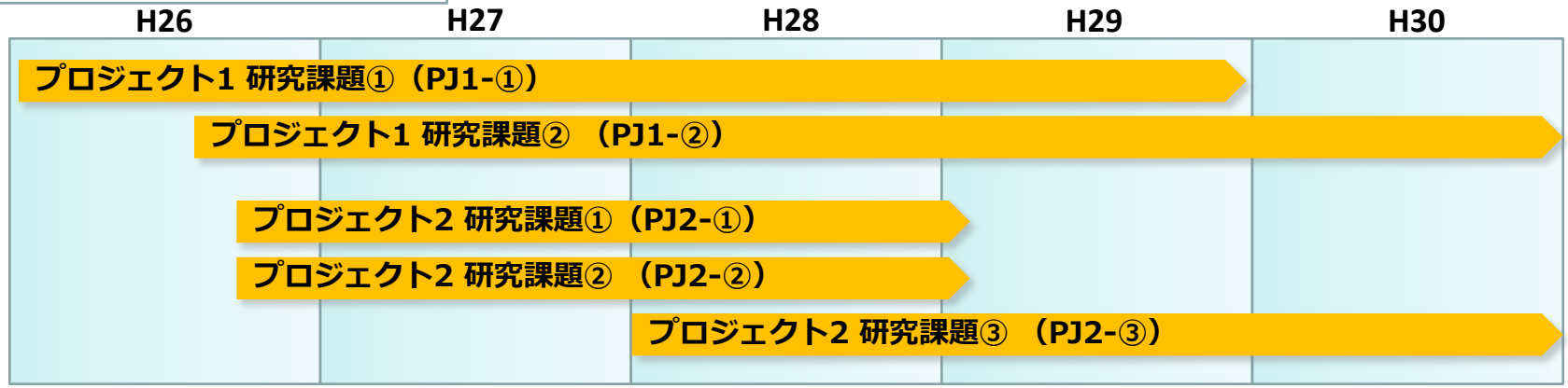
【PJ2-②】 繊維以外の加工技術開発(フィルム化、ゲル化等)を実施する。

【PJ2-③】 PJ2-①②で開発された基盤技術を活用し、既存材料ではなし得ない圧倒的性能を実現する複合材料の試作、及び実現可能性検討を行なう。全産業に用途開発の公募をかけ、ステージゲート方式で選定されたチームが中核事業体と共同開発契約を結び、構造タンパク質材料の供給を受け、用途別に開発を行う。

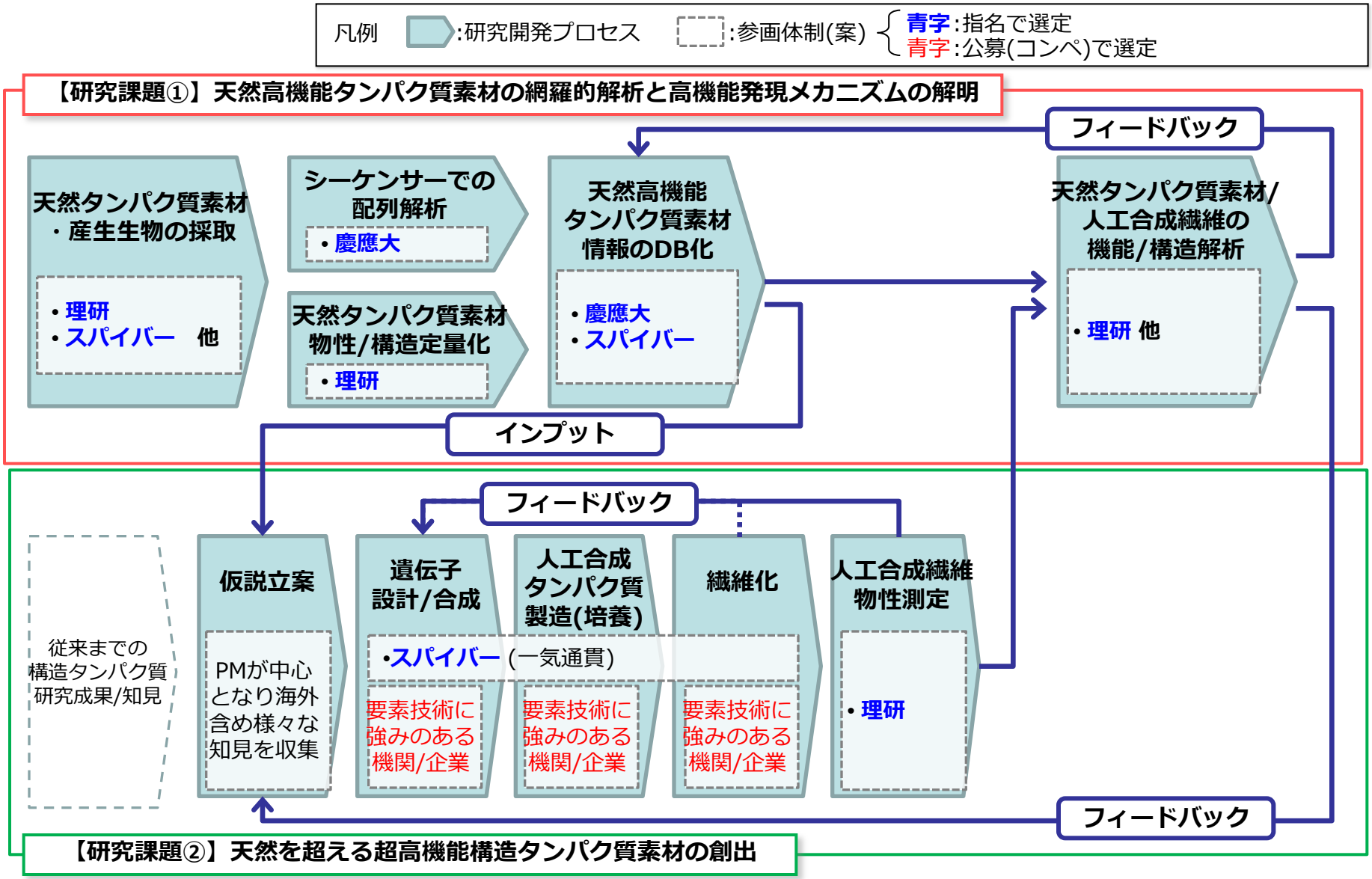
研究開発プログラム全体構成



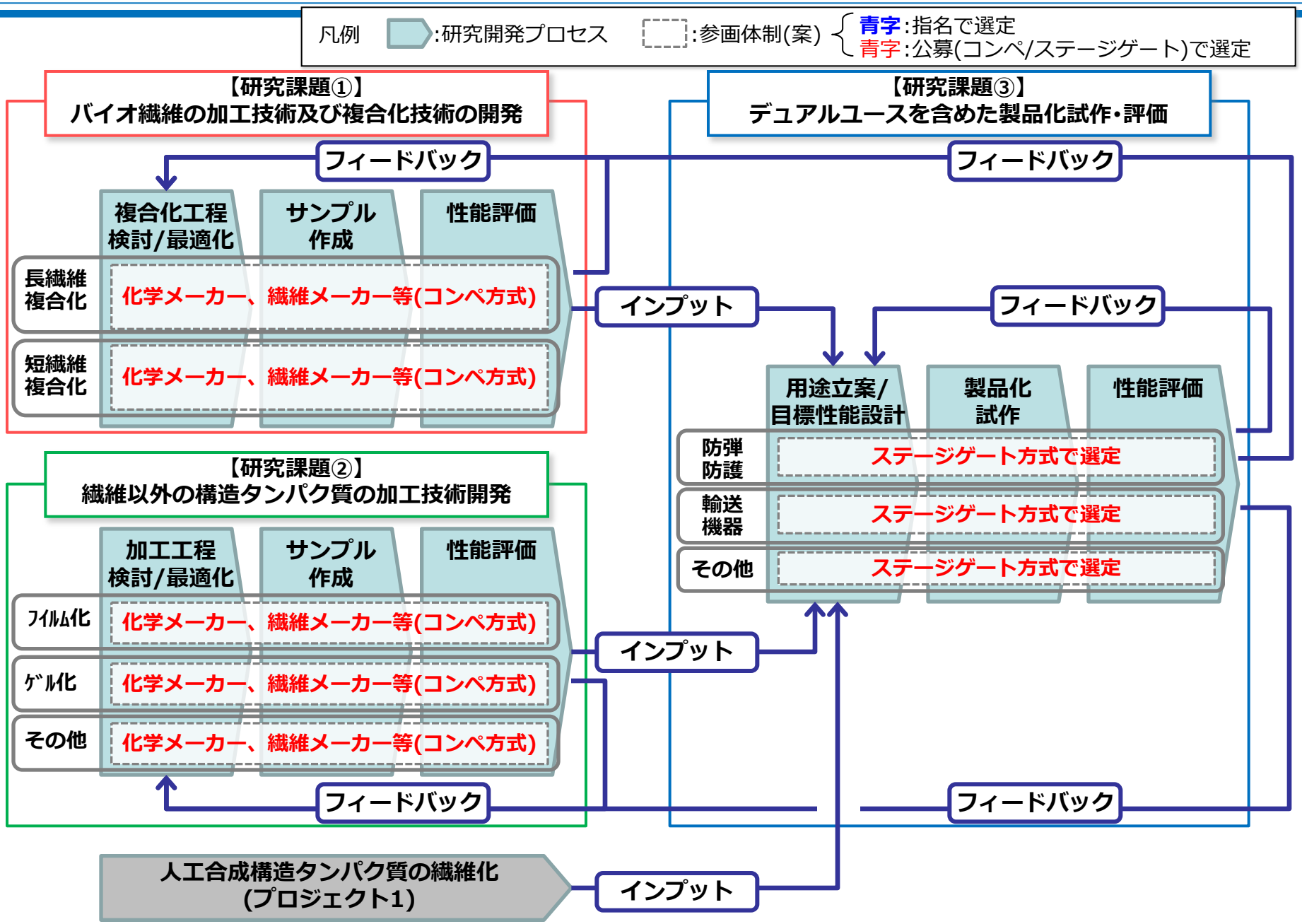
各克服すべき課題の実施時期



プロジェクト1の実施方法
- 研究開発課題間の相互関係

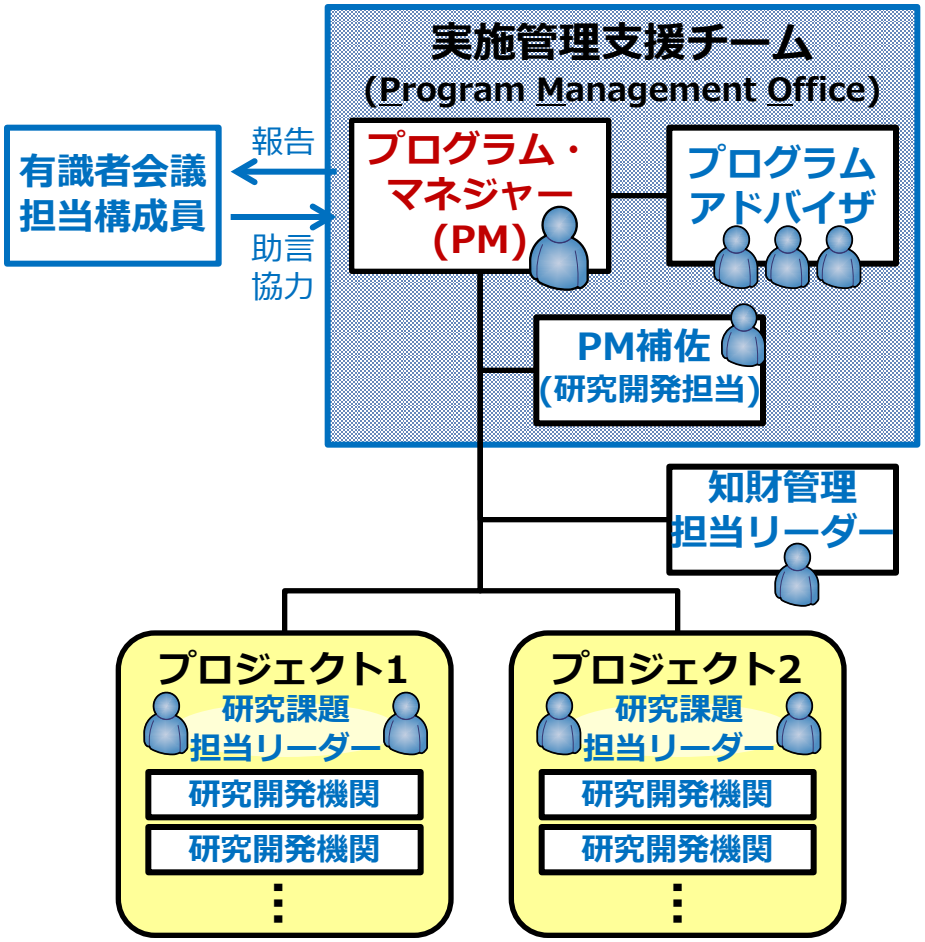


プロジェクト2の実施方法
- 研究開発課題間の相互関係



プロジェクト・研究開発課題を跨った連携に向けた方策
- PMOの体制

プログラム運営の全体管理を行う実施管理支援チーム(Program Management Office)を構成し各研究開発プロジェクト/各研究課題の横断的な旗振り役を担うことで、超分野横断的フィードバック型研究開発体制を構築する。



プログラムアドバイザ

冨田 勝 (慶應義塾大学教授)
川口 武行 (東工大特任教授/元帝人)
成澤 郁夫 (山形大学元学長/元クラレ)

PM補佐

村田 真也

プロジェクト推進リーダー

PJ1-① **沼田 圭司** (理研)
PJ1-① **荒川 和晴** (慶應大)
PJ1-② **菅原 潤一** (スパイバー)
PJ2-①②③鈴木 隆領 (PM兼務)

課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方 (1/2)

研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

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

- 我が国が誇る世界最先端の高次構造解析技術、CS/IT、遺伝子工学、合成生物学等を集結したオールジャパン体制での研究開発が必要
- PJ1-①で蓄積した知見及び構築したデータベースの情報をPJ1-②で活用していくため、可及的速やかなプロジェクト活動の立上げが必要

選定に至る考え方・理由

✓ **プロジェクト活動を早急にスタートさせるため非公募指名方式で選定**

◆ 選定方法：非公募指名

① 理化学研究所 (初年度から参画必要)

② 慶應義塾大学 (初年度から参画必要)

③ スパイバー (初年度から参画必要)

➔各研究開発機関の選定理由は後続頁にて詳細説明

PJ1-②： 天然を超える超高機能構造タンパク質素材の創出

- 遺伝子設計～培養～繊維化は各プロセスが密接に関連しており、個々に独立して高度化させた場合に個別最適化に陥ってしまう可能性が高いため、横断的に実践及びマネジメントができる組織をコア研究機関として選定が必要
- コア研究機関の技術を補完できる要素技術に強みのある機関/企業を選定が必要

✓ **コア研究組織を非公募指名方式で選定した後、その要素技術を補完できる組織を公募(コンペ方式)にて選定**

◆ 選定方法：非公募指名

① スパイバー (初年度から参画必要)

➔研究開発機関の選定理由は後続頁にて詳細説明

◆ 選定方法：公募 （FY2014/4Qに公募実施予定）

① 構造タンパク質遺伝子の設計/合成に関する要素技術

② 構造タンパク質の製造に関する要素技術

③ 人工構造タンパク質の繊維化に関する要素技術

PJ1-①非公募指名による研究開発機関の選定ポイント

参画機関	選定理由
理化学研究所	➢ 沼田チームリーダーの専門は構造タンパク質の動的な構造解析であることから、本プロジェクトへの大きな貢献が期待される。また、理化学研究所は高出力の放射線の出力が可能な実験施設SPring-8を保有しており、沼田氏はSPring-8の活用に関しても実績を持っているだけでなく、動的／機械的試験や熱分析といった構造タンパク質素材の物性評価についても経験を有している。 ➢ タンパク質素材の採取ついては、沼田氏を介して、マレーシア・ブラジルをはじめとした外国での遺伝子資源および構造タンパク質の収集に関する契約を締結することが可能であるため、沼田氏が参画することでプロジェクトの推進力強化が期待される。
慶應義塾大学	➢ De novoトランスクリプトーム解析においては、サンプル調整からバイオインフォマティクス解析に至るまでウェットとドライにおける高度な知識が要求されるが、荒川特任准教授はその双方において高い技術を持っている。 ➢ また、慶應義塾大学先端生命科学研究所では次世代シーケンサーデータのアセンブリーに必須なRAM 6TBのハイメモリ解析サーバ及び約1PBのファイルシステムを有しており、データ解析のためのインフラストラクチャーが整っているため、本プロジェクトへの大きな貢献が期待される。
スパイバー	➢ 中村マネジャーは多くのタンパク質素材の収集を実施しており、収集した素材の評価、分析を行った実績がある。また、分析結果に関するデータベースをスパイバー社内で作成しており、天然タンパク質素材及び人工合成タンパク質素材に関するデータを400種類以上蓄積している。そのため、本プロジェクトを円滑に進める上で中村氏の参画は必須であると考えている。

PJ1-②非公募指名による研究開発機関の選定ポイント

参画機関	選定理由
スパイバー	➢ **技術的優位性** 大学発ベンチャーであるスパイバー社はPJ1-②で必要となる以下の要素技術について、基幹となる特許を含む先端技術力を有し、人工合成タンパク質の製造においては、研究所の立ち上げから3年で1,000倍、その後2年間でさらに1,000倍の生産量拡大を達成した実績に裏付けられるスピード感・開発遂行力を有している。本プロジェクトリーダーである菅原氏はスパイバー社創業時から技術責任者を務めており、類い稀なチャレンジ精神・独創性の持ち主である。 • 遺伝子設計／合成 → 構造タンパク質の遺伝子設計／合成をハイスループットに行う独自の技術を確立し、既に400種類を超える新規の構造タンパク質設計/合成に成功している。 • 人工合成タンパク質製造 → 構造タンパク質製造の発酵／精製プロセスについて製造基盤技術を確立しており、数十トンスケールでの発酵タンクによる実証試験にも成功している。 • 繊維化 → アカデミアや繊維メーカーOB、装置メーカーと連携しながら、構造タンパク質の繊維化プロセスの独自開発に成功している。繊維化関連の特許取得件数7件。 ➢ **一気通貫・大規模生産設備によるプロセス実践力** スパイバー社は世界最大規模（年産最大1トン）の構造タンパク質原料の生産設備を保有し、クモ糸をはじめとするフィブロインなどの構造タンパク質の分子設計から、微生物を用いたタンパク質原料生産、繊維化・樹脂複合化、部品や製品（アプリケーション）の試作評価、そして評価結果の分子設計へのフィードバックをひとつの拠点で一貫して行える、現時点で世界唯一の組織である。 ➔ 今後5年間で成果を出す為には、全てのプロセスを一気通貫で手がけ、プロセスの改善を繰り返すことができる組織の存在が必要不可欠であるため、コア研究組織としてスパイバー社の参画は必須であると考えている。 一方で、スパイバー社をコアとしながら公募により選定される研究機関と共同で基盤技術確立を誘導し、その後は様々な分野への応用展開を図ることで、日本全体の幅広い産業の競争力向上に貢献が期待される。

課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方 (2/2)

研究開発機関選定に際して重要視するポイント等	選定に至る考え方・理由
PJ2-①： <u>バイオ繊維の加工技術及び複合化技術の開発</u> ➢ 繊維の加工/複合化のための装置を保有し、既存繊維も含めた要素技術の開発の実績がある機関の参画が必要 ➢ バイオ繊維に最適化した加工/複合化装置の開発を行うことが出来る機関の参画が必要	✓ **<u>化学メーカー、繊維メーカーなどを対象に公募(コンペ方式)で選定</u>** ◆ 選定方法：公募　（FY2014/4Qより順次公募実施予定） ① 長繊維複合化に関する要素技術 ② 短繊維複合化に関する要素技術
PJ2-②： <u>繊維以外の構造タンパク質の加工技術開発</u> ➢ 構造タンパク質に適した加工装置 (オーダーメイドのラボ向け小型装置等)の開発を行うことが出来る機関の参画が必要 ➢ レオロジーに関する知見のある機関/研究者の参画が必要	✓ **<u>化学メーカー、加工メーカーなどを対象に公募(コンペ方式)で選定</u>** ◆ 選定方法：公募　（FY2014/4Qより順次公募実施予定） ① フィルム化加工に関する要素技術 ② ゲル化加工に関する要素技術 ③ その他形態加工に関する要素技術
PJ2-③： <u>デュアルユースを含めた製品化試作・評価</u> ➢ 大きな社会的インパクト・高い事業性が見込める用途提案・製品化試作が行える機関の参画が必要	✓ **<u>公募(ステージゲート方式)で選定</u>** ◆ 選定方法：公募　（FY2016時点で公募実施予定） ① 輸送機器関連のアプリケーション開発 ② 防弾防護関連のアプリケーション開発 ③ その他用途でのアプリケーション開発

研究開発プログラム全体の体制図

赤字：プログラム開始段階で必要な体制

PM
鈴木 隆領

プログラムアドバイザ
冨田 勝 (慶應義塾大学教授)
川口 武行 (東工大特任教授/元帝人)
成澤 郁夫 (山形大学元学長/元クラレ)

実施管理支援チーム(PMO)

知財管理担当リーダー
TBD

PM補佐
村田 真也

【プロジェクト1】

PJ1-①リーダー
沼田 圭司 (理研)
荒川 和晴 (慶應大)

PJ1-②リーダー
菅原 潤一 (スパイバー)

【研究課題①】

天然構造タンパク質遺伝子の網羅的取得/分析
理研、慶應大、スパイバー

構造タンパク質素材の構造解析
理研

【研究課題②】

人工構造タンパク質遺伝子設計/合成～製造
スパイバー、他(コンペ方式)

構造タンパク質の繊維化
スパイバー、他(コンペ方式)

【プロジェクト2】

PJ2-①②③リーダー
鈴木 隆領
(公募選定完了まではPMと兼務)

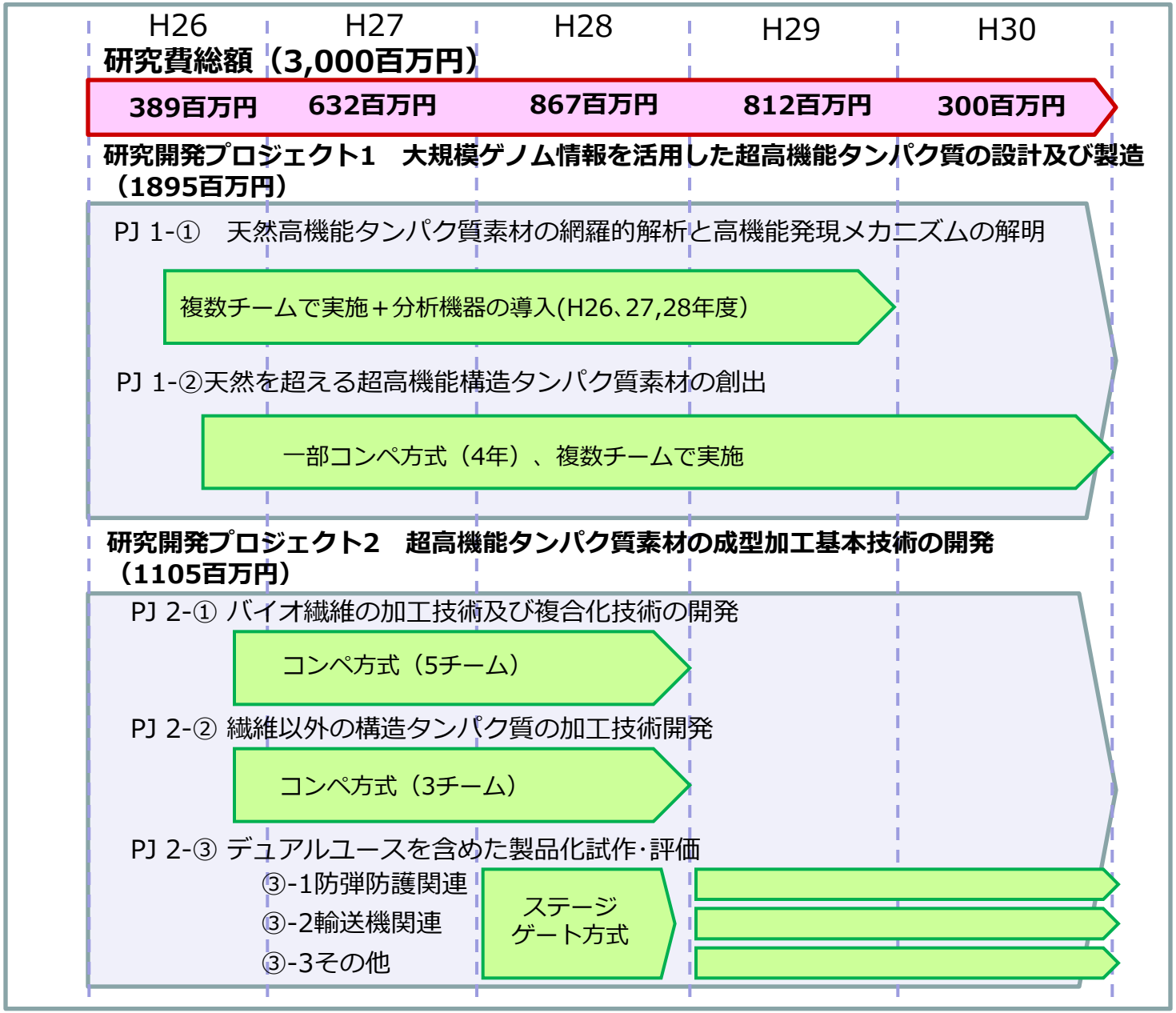
【研究課題①】

バイオ繊維の加工技術及び複合化技術開発
化学メーカー、繊維メーカー(コンペ方式)

【研究課題②】

繊維以外の構造タンパク質加工技術開発
化学メーカー、繊維メーカー(コンペ方式)

【研究課題③】

アプリケーション開発
(ステージゲート方式)

研究開発プログラム予算（予定）