

平成29年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

1. 件名：（大項目） 非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発

2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ニ及び第三号

3. 背景及び目的・目標

3.1 研究開発の背景・目的

我が国の化学品の大半は石油由来の原料から製造されており、現状では石油消費量の約23%を原料として使用する等、化学産業は化石資源を大量に消費している。さらに、我が国の化学品の製造では、産業部門全体の約13%、日本全体の約5%のCO₂を排出している。

一方、世界的に石油消費量が拡大する中、輸入に頼る石油の価格上昇や枯渇リスク、CO₂排出量の増大に伴う温暖化問題に直面しており、化学品製造の革新的イノベーションの実現により、こうした課題を乗り越えていくことが急務となっている。将来的に石油資源の供給リスクを克服し、かつ、持続可能な低炭素社会を実現していくためには、非可食性バイオマスの利用等、様々な非石油由来原料への転換が必要である。

このような背景から、非石油由来原料として、非可食性バイオマスを活用した化学品製造プロセス開発が世界的に活発化してきている。例えば、米国において、平成12年頃から木皮由来フェノールからの木材接着剤の開発等の非可食性バイオマス由来の化学品製造が検討されている。またヨーロッパにおいて、平成20年頃から木材の前処理技術の開発や、木質系バイオマス複合材の開発等の非可食性バイオマス由来の化学品製造が検討されている。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）では「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発」において平成21年度から平成24年度まで、非可食性バイオマスの利活用による化学品製造プロセスを開発した。このプロジェクトにおいては、例えば、木質系バイオマスから抽出したリグニンを活用したリグニン樹脂の開発等、非可食性バイオマスから得られるセルロース、ヘミセルロース、リグニン等を個別に活用する化学品製造プロセスの基盤技術開発を推進した。

国内においては、非可食性バイオマスからの化学品製造プロセス開発は、これまでに、基盤技術開発が進められているものの実用化に達しているものは少ない。

したがって、このような開発を促進し、早期の実用化を加速することは、石油枯渇等の原料リスクを早期に低減するために重要である。

また、再生可能な原料である非可食性バイオマスを利用した省エネルギーな化学品製造プロセスの実現は、二酸化炭素の排出量削減につながり、持続可能な低炭素社会を実現するために、重要である。

なお、非可食性バイオマスのうち木質系バイオマスは、原料調達面で安定的に大量入手の可能性があるので、その活用は重要である。しかしながら、その実用化には、石油由来化学品に対してコスト競争力が必要であり、木質系バイオマスから得られるセルロース、ヘミセルロース、リグニンの三成分を無駄なく有効活用できるプロセス等の開発が重要である。また、木質系バイオマスの利用においては前処理技術の難易度が高い等、多くの開発要素が残されている。

さらに、新しい材料として多様な応用が期待されるセルロースナノファイバー（以下、「CNF」という。）については、実用化や普及を加速し支援するため、信頼性向上や高機能化・品質管理を強化する必要があり、安全性評価手法の開発や木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価を実施する必要がある。

3.2 研究開発目標

本プロジェクトでは非可食性バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスを構築し、石油由来化学品と比較して、性能が同等以上かつコスト競争力のある化学品を開発するために以下を研究開発目標とする。また、非可食性バイオマスの特徴を生かしやすいポリアミドといった高性能プラスチック等の高付加価値品を主なターゲットとする。

【助成事業（助成率：2／3以内）】

研究開発項目①「非可食性バイオマスから化学品製造までの実用化技術の開発」

前処理技術が簡易で、早期実用化が期待できる、草本系バイオマス等の非可食性バイオマスから化学品までの一貫製造のための実用化技術の開発を助成事業により実施する。

【最終目標】

化学品を一貫製造するための実用化技術（低コスト化、スケールアップを実現するためのプロセス技術等）を開発する。

その知見を活用し、最終的に、非可食性バイオマスから最終化学品までのベンチスケールでの一貫製造プロセスを実証する。

開発した一貫製造プロセスの収率、性能、設備投資や生産性等を踏まえ、一貫製造プロセスが、代替する石油由来化学品と比較して、性能で同等以上かつコスト競争力があることを示す。

[委託事業]

研究開発項目②「木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発」

実験室レベルでの前処理技術や有効成分を無駄なく活用するプロセスの要素技術開発、それらの要素技術を活用した一貫製造プロセスの構築、実験室レベルからベンチスケールへのスケールアップ技術の開発等、実用化までに時間を要する木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセス開発を、委託事業により実施する。

【平成27年度末目標】

(1) セルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発

(1) -1 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発
想定される木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセス構築に向けた実験室レベルの要素技術を開発する。

開発した要素技術から得られる化学品の収率、性能等の実験結果を踏まえ、想定される一貫製造プロセスが、代替する石油由来化学品と比較して、性能で同等以上かつコスト競争力があるとの見通しを得る。

(2) 木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発

想定される木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセス構築に向けた実験室レベルの要素技術を開発する。

開発した要素技術から得られる化学品の収率、性能等の実験結果を踏まえ、想定される一貫製造プロセスが、代替する石油由来化学品と比較して、性能で同等以上かつコスト競争力があるとの見通しを得る。

【平成29年度末目標】

(1) セルロースナノファイバーを活用した化学品一貫製造プロセスの開発

(1) -1 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発
コスト競争力の見通しが得られた要素技術を活用し、木質系バイオマスから最終化学品までの実験室レベルでの一貫製造プロセスを実証する。

開発した一貫製造プロセスから得られる化学品の収率、性能等の実験結果を踏まえ、一貫製造プロセスが、代替する石油由来化学品と比較して、性能で同等以上かつコスト競争力があることを示す。

(2) 木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発

コスト競争力の見通しが得られた要素技術を活用し、木質系バイオマスから最終化学品までの実験室レベルでの一貫製造プロセスを実証する。

開発した一貫製造プロセスから得られる化学品の収率、性能等の実験結果を踏まえ、一貫製造プロセスが、代替する石油由来化学品と比較して、性能で同等以上かつコスト競争力が

あることを示す。

【最終目標】

平成29年度までに開発した実験室レベルの一貫製造プロセスの知見を活用し、量産化に向けた技術を開発し、ベンチスケールで一貫製造プロセスを実証する。

開発した一貫製造プロセスから得られる化学品の収率、性能等に加えて、設備投資や生産性等の実験結果を踏まえ、一貫製造プロセスが、代替する石油由来化学品と比較して、性能で同等以上かつコスト競争力があることを示す。

(1) セルロースナノファイバーを活用した化学品一貫製造プロセスの開発

(1) - 1 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発

平成29年度までに開発した実験室レベルの一貫製造プロセスの知見を活用し、量産化に向けた技術を開発し、ベンチスケールで一貫製造プロセスを実証する。

開発した一貫製造プロセスから得られる化学品の収率、性能等に加えて、設備投資や生産性等の実験結果を踏まえ、一貫製造プロセスが、代替する石油由来化学品と比較して、性能で同等以上かつコスト競争力があることを示す。具体的には、製造コストを1,300円/kgまで低減する。

(1) - 2 CNF 安全性評価手法の開発

CNFの分析及び有害性試験手法の開発では、平成30年度までに開発したCNFの単糖化等の手法による生体への取り込みの把握に必要なレベルのCNFを検出・定量する手法、気管内投与試験のためのCNF試料調製手法及び投与手法、皮膚細胞モデルを使用したCNFの皮膚透過性試験手法について、手法と適用事例をとりまとめた手順書等を策定する。

CNFの排出・暴露評価手法の開発では、CNF粉体及びCNF応用製品の製造・使用・廃棄プロセス等におけるCNFの排出・暴露可能性を現場調査や模擬試験により評価し、確立した計測手法と評価事例をとりまとめた手順書等を策定する。

これら手法について、国際的な機関（OECD、ISO等）の動向を的確に把握し、国際標準化へ向けた取り組みを行っている経済産業省の担当課等、日本の窓口機関と連携し、データ提供等を行う。

(1) - 3 木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価

スギ、ヒノキ、カラマツ、広葉樹、タケ等を対象にした木質系バイオマスを原料として、木質系バイオマスの特性解析、パルプ特性解析、CNF特性解析、CNF用途適正評価により得られた結果を総合的に解析し、CNF製造メーカーが用途に応じて効率的に高性能CNFを製造できるような原料評価手法を確立する。

木質系バイオマスの特性評価の成果はweb等に公開し、展示会・説明会で説明する。

(2) 木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発

平成 29 年度までに開発した実験室レベルの一貫製造プロセスの知見を活用し、量産化に向けた技術を開発し、ベンチスケールで一貫製造プロセスを実証する。

開発した一貫製造プロセスから得られる化学品の収率、性能等に加えて、設備投資や生産性等の実験結果を踏まえ、一貫製造プロセスが、代替する石油由来化学品と比較して、性能で同等以上かつコスト競争力があることを示す。具体的には、木質バイオマスから抽出する主要 3 成分の総合収率 70%を達成する。

4. 実施内容及び進捗状況

プロジェクトマネージャーに NEDO 材料・ナノテクノロジー部 佐々木 健一を任命し、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるとともに、以下の研究開発を実施した。また、平成 26 年度から国立大学法人京都大学 工学研究科 教授 前 一廣氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

4. 1 平成 28 年度（助成）事業内容

研究開発項目① 「非可食性バイオマスから化学品製造までの実用化技術の開発」

(1) 植物イソプレノイド由来高機能バイオポリマーの開発

平成 27 年度までの成果に基づく高度精製バイオトランスポリイソプレンの製造を行い、基礎物性データの整備とサンプル提供を開始した。

耐衝撃性バイオ素材に関して、試作品の製作検討を進め、評価した基礎物性より、製造条件の最適化を図った。

炭素繊維強化バイオ素材に関して、平成 27 年度までに得られた混合比、混練条件を基に、スケールアップした混練条件を確立させた。

引き続き、市場導入へ向けて、各々の商品に求める特性を見極め、既存の競合素材との差別化を図るべく、製造技術の改良に取り組むとともに、コスト試算による事業性評価を行った。

(実施体制：日立造船株式会社、委託先：キャスコ株式会社、ウイスカ株式会社、共同研究先：国立大学法人大阪大学)

(2) 非可食性バイオマス由来フルフラール法 THF 製造技術開発

ベンチスケール設備を用いたフルフラールの製造時の課題について、解決法の検討を継続して行った。一方、フルフラール製造後の残渣の利活用について、熱回収や化学品原料としての利用に関して、引き続き検討を行った。

脱 CO 工程については、昨年度までにラボで確立した処理方法に基づく触媒再生を実施し、再生触媒の性能を確認した。実証試験に基づき、製造コストの評価など事業化に関する

F Sを進めるとともに、非可食性バイオマス由来の製品サンプルを作製し、純度や物性を確認した。

(実施体制：三菱化学株式会社、王子ホールディングス株式会社、委託先：国立大学法人九州大学)

4. 2 平成 28 年度（委託）事業内容

研究開発項目②「木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発」

(1) - 1 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発
成分分離方法、ナノ解繊技術の検討では、昨年度までの耐熱性目標を達成した技術について、そのスケールアップを図り、原料・成分分離・ナノ解繊の最適化を進めた。

リグノ CNF 変性技術の開発においては、昨年度までの耐熱性目標を達成し、絞り込んだ技術について、そのスケールアップを図り、原料・成分分離及び化学修飾の最適化を行った。熱流動性向上技術に関しては、原料・リグニンネットワークの開裂、切断とリグニン及びヘミセルロースの化学修飾の複合、添加剤について、引き続き検討を行った。

リグノ CNF・樹脂複合体製造プロセスの開発では、種々のリグノ CNF について、複数の種類の PA 樹脂、PP 樹脂などとの複合化を行い、射出成形し、機械的性質を明らかにした。並行して、射出成形体に高圧不活性ガスを含浸して微細発泡させ軽量化を図る方法について、継続して検討を行った。

平成 27 年度までに完成した試料作製プラントを活用し、部材製造プロセスのスケールアップを図るとともに、リグノ CNF 強化樹脂材料の社会実装において重要な加工技術の開発に着手した。またサンプル提供によるユーザー評価を促進し、製造技術の確立・改善を進めた。

(実施体制：国立大学法人京都大学、王子ホールディングス株式会社、日本製紙株式会社、星光 PMC 株式会社、地方独立行政法人京都市産業技術研究所、再委託先：国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所)

(2) 木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発

平成 25～27 年度に実施した要素技術開発により絞り込んだ前処理技術、及び順位づけを行った成分利用技術を用いて、これらの結果を基に、平成 28 年度にはバイオマスから化成品原料に至る一貫製造プロセスを実験室レベルで確立するために課題の解決に当たった。技術的にはリグニン利用拡大を重要課題と位置づけ、前処理で抽出された成分の改質などに必要な基盤技術の開発を実施した。これまでそれぞれが開発してきた要素技術を木質バイオマスから分離された原料に適応させて、課題の抽出とその解決を行った。

(変換技術開発)

平成 27 年度に絞り込まれた改良アルカリ蒸解で木質バイオマスを前処理し、川下の技術開発に必要なサンプルを供給した。これまでと比較して必要サンプル量が増加するので、前

処理に使用する設備を揃え、あるいは外部設備を利用することで対応したが、規模が大きくなることで性状の変動が生じ、その原因の究明と対策を行った。また改良方法の一つとしての酸素添加蒸解については、専用に設計した実験装置を使い条件を探る実験を行い、目標収率が得られるような反応条件を精査した。さらに酸素添加蒸解で生成する芳香族モノマーを系から効率的に取り出すために、CO₂ 超臨界抽出の基礎検討を行い、連続実験装置の概要を決定した。

アルカリ蒸解から得られるソーダリグニンは高分子であり、縮合反応により化学的な性質が川下の樹脂利用に適さない。そこでソーダリグニンを樹脂利用に適するように改質する反応を基盤技術として検討した。ソーダリグニンを分解し低分子化する可能性のある試薬を試すことで、実験室的にはリグニンを低分子化させられることが判明した。

本プロジェクトで対象とする一貫プロセスについて、種々の生産技術との組み合わせが最適となる選択ができるような設備コストや利用可能な廃熱、副製品の有効利用、廃棄物の処理コスト等を考慮して導出するシステムを構築し、構造の最適化を考慮して評価できるモデルを検討した。評価のための基礎データの収集を行った。また同時にプロセス全体としてLCA評価ができるモデルを構築した。

(リグニン活用技術開発)

フェノール系熱硬化性樹脂合成法の開発では、ソーダリグニンを原料としたフェノール系熱硬化性樹脂の合成法の確立を検討した。原料樹種、リグニン比率、反応モル比、触媒、プロセス条件を詳細検討し、1 Lスケールの樹脂合成条件を確立した。樹脂評価及び成形材料化評価を行い、実用利用可能な樹脂設計を絞り込んだ。リグニン原料構造や反応処方を適正化するために、反応活性の定量化評価法の構築について検討した。

エポキシ樹脂の開発では、ソーダリグニンを原料とした高機能エポキシ樹脂の開発を目的とし、高機能化を目指したソーダリグニンの分画や変性の検討とソーダリグニンに適した効率的なエポキシ樹脂化法の開発を行った。また、バイオマスからエポキシ樹脂原料の直接生産を目的として、ソルボリシス分解法の工業化に向けた検討を行った。

重水素化学品開発では、27年度までに開発した木材由来リグニンからの直接重水素化物の抽出工程についてマイクロ波+触媒の分解技術を更に進め、ソーダリグニン及び残渣としていた分画について分解方法の開発を行った。これにより得られた成分の同位体化技術開発を行った。また、質量分析装置などを用いた分析技術開発、スケールアップに向けた検討を実施した。

ポリウレタンフォームの開発においては、リグニン試料をポリオールとして用いたウレタン樹脂化等に取り組み、熱的性質を含めて高分子材料としての物性評価等を行うとともに、特に均一なセル構造を持ち、石油由来品と比較し、見掛け密度、圧縮強度などの諸物性が同等以上かつコスト競争力のあるウレタンフォームの検討を実施した。

リグニン品質管理方法の開発では、リグニン低分子化検討項目及びリグニン利用項目で製造・調製されるリグニンの原料化品質を管理するため、各項目のリグニン試料に適應でき

る分析法を開発した。平成 28 年度は、①リグニンの含有量に関する分析、②リグニンの化学構造分析、及び③リグニンの高分子化学的分析について検討を行った。そのうち、低分子化リグニンの評価に重要な分子量測定及びその樹脂化の評価に重要な熱分析について、重点的に分析法の開発検討を行った。

(セルロース活用技術開発)

セルロースからレブリン酸/エステル及びヒドロキシメチルフルフラール (HMF) の効率的製造プロセス開発を継続し、収率や品質等からそれぞれの製造プロセスを検証した。

改良アルカリ蒸解で得られるセルロースからレブリン酸/エステル合成に対して、平成 27 年度までに構築した酸触媒プロセスでの想定される反応機構から触媒改良と反応速度解析等の工学的アプローチによる観点から更なる高効率化・条件最適化した。また、レブリン酸/エステルを原料とする化学変換では、ターゲット物質の収率や品質、触媒寿命等に着目した高効率製造プロセスの開発を行い、ラボスケール結果を元に一貫プロセス評価した。

また、ヒドロキシメチルフルフラール (HMF) については、平成 27 年度に引き続き、要素技術の開発を継続するとともに、今年度から新たにセルロース又は糖から最終製品までの一貫製造プロセス (プロセス連結) のラボ検討を開始した。HMF からモノマーを合成する要素技術の開発として、還元条件の最適化をおこない、モノマーの収率目標 (70%以上) を達成した。一方、一貫製造プロセスの検討として、セルロースを出発原料として HMF を経由したモノマーの合成に成功した。また、試薬の HMF から合成したモノマーは試薬モノマーと同等レベルの重合性を示し、得られた重合物も同等の融点を保有することを確認した。

(糖活用技術開発)

C5、C6、オリゴ糖糖化プロセス開発では、ベンチ設備を用いて酵素回収と糖精製とを一貫で行い、化学品製造用の C5、C6 糖を糖利用グループ各社に提供するとともに、ベンチスケールでのプロセス実証を行った。また、オリゴ糖製造に適した酵素生産株を開発することで、C6 画分からオリゴ糖・グルコース (化学品製造用 C 6 糖) を同時生成させ、膜分離と組み合わせることで、オリゴ糖とグルコースを同一プロセスにおいて、併産する技術を開発した。

DOI からの機能性化学品の開発では、DOI 生産大腸菌の生産律速点の強化によって、木材チップ由来糖化液原料から DOI 生産性 70g/L(40hr)を達成した。また発酵液からの DOI 精製に関しては、膜利用技術とイオン交換樹脂利用技術を組み合わせ、DOI 回収率 \geq 70%、DOI 純度 \geq 95%を達成した。DOI サンプル調製については、試薬糖原料から 1kg/月の DOI 供給を達成するとともに、木材チップ由来糖化液からの DOI サンプル調製も適宜行った。最終製品として、2-hydroxy-4,5-dimethoxybenzoic acid phenyl ester (DBAP)と 1,3,4-tris(glycidyl-oxy)benzene(TGB)の 2 種類の化合物を検討した。前者は医薬原料用途、後者は機能樹脂原料用途である。TGB については数百 g レベルで DOI 及び THB からのサンプル製造を行い、用途についての検討を行った。プロセス技術の開発については、モデル試験

装置を用いた検討を実施し、設備コスト、運転コストを意識したプロセス設備の調査、検討を実施した。

3-ヒドロキシプロピオン酸(3HP)の開発ではマロニル CoA レダクターゼ遺伝子を複数導入することで 3HP の生産性向上を図り、フラスコ培養で 5g/L の 3HP を生産するプラスミド型生産株と同等レベルの 3HP 生産性を有する染色体組込型生産株を作製した。ジャーファメンターによる培養では、染色体組込型生産株の 3HP 生産量はプラスミド型生産株より高かった。染色体組込型生産株とプラスミド型生産株について木質由来糖液を用いて 3HP 生産性を評価した。また 3HP の生産性を向上させるために酢酸からアセチル CoA への反応を触媒するアセチル CoA シンターゼに加え、ピルビン酸から酢酸への反応を触媒するピルビン酸オキシダーゼも導入することでアセチル CoA を大量に生産する株を創製した。さらにピルビン酸から直接アセチル CoA への反応を触媒するピルビン酸デヒドロゲナーゼについても導入してその効果を検討した。リシノール酸の開発では遺伝子発現バランスの調整によるリシノール酸の高効率分泌生産株を作製した。平成 27 年度までの検討から、効率的な生産には *olate Δ 12-hydroxylase* (FAH12) と *phospholipase A2* (Plg7) の発現が鍵であり、どちらの遺伝子も過剰に発現させると菌体の生育を阻害することが明らかになったので、様々なプロモーターを用いてこれらの遺伝子の発現レベル・発現バランスの調整を行い、ジャーファメンターによる培養を視野に入れた効率的で安定したリシノール酸生産株を構築した。

糖類からのジオール製造技術の開発においては、C6 糖類から水素化反応、脱水反応によってイソソルビドを得る工程の検討に注力した。前段の糖の水素化工程については、各種の蒸解法で得られた糖液の反応速度を調べ、蒸解法や樹種と得られた糖液の水素化反応阻害の関係を明らかにした。また、触媒の繰り返し使用試験等を行い、工業的な観点から各種の条件を選定した。後段の脱水工程については、考案した反応方法について、各要素技術の性能をモデル実験で確認するとともに、主生成物、副生成物の挙動（逐次反応や分解、平衡、及び各相間の分配等）を調べた。さらに、連続反応化を見据え、予備検討に用いる反応装置を制作した。

(実施体制：日本製紙株式会社、国立研究開発法人森林総合研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所（中国）、国立大学法人東京大学、住友ベークライト株式会社、国立大学法人京都大学（工学研究科）、宇部興産株式会社、ユニチカ株式会社、国立大学法人京都大学（生存圏研究所）、日本化学機械製造株式会社、日本化薬株式会社、大陽日酸株式会社、東レ株式会社、旭硝子株式会社、三井化学株式会社、新潟バイオリサーチパーク株式会社、学校法人新潟科学技術学園新潟薬科大学、三菱化学株式会社—再委託： 国立研究開発法人産業技術総合研究所（東北）、国立大学法人京都大学（化学研究所）、国立研究開発法人産業技術総合研究所（つくば）、株式会社 IHI プラントエンジニアリング、DIC 株式会社、国立大学法人九州大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所（中国）、学校法人関西大学、国立

大学法人東北大学、株式会社東レリサーチセンター、学校法人金井学園福井工業大学)

4. 3 実績推移

	平成 25 年度		平成 26 年度		平成 27 年度		平成 28 年度	
	委託	助成	委託	助成	委託	助成	委託	助成
実績額推移								
一般会計 (百万円)	483	69	—	—	—	—	—	—
需給会計 (百万円)	—	—	869	335	1237	83	954	57
特許出願件数 (件)	0	—	9	—	23	7	6	3
論文発表数 (報)	1	—	1	—	3	4	6	1
フォーラム等 (件)	0	0	7	1	9	0	5	0

5. 事業内容

プロジェクトマネージャーにNEDO 材料・ナノテクノロジー部 浜田 耕太郎を任命し、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるとともに、以下の研究開発を実施する。また、国立大学法人京都大学 工学研究科 教授 前 一廣氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5. 1 平成 29 年度 (委託) 事業内容

研究開発項目②「木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発」

(1) セルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発

(1) - 1 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発

成分分離方法、ナノ解繊技術の検討では、平成 28 年度までの耐熱性目標を達成した技術について、そのスケールアップを図り、原料・成分分離・ナノ解繊の最適化を進める。

リグノ CNF 変性技術の開発においては、平成 28 年度までの耐熱性目標を達成し、絞り込んだ技術について、そのスケールアップを図り、原料・成分分離及び化学修飾の最適化を行う。熱流動性向上技術に関しては、原料・リグニンネットワークの開裂、切断とリグニン及びヘミセルロースの化学修飾の複合、添加剤について、引き続き検討を行う。

リグノ CNF・樹脂複合体製造プロセスの開発では、PBT,ABS,PLA,PS,HDPE 等、複数の樹脂あるいはそのブレンド物との複合化を行い、射出成形し、機械的性質を明らかにする。

並行して、射出成形体に高压不活性ガスを含浸して微細発泡させ軽量化を図る方法について、継続して検討を行う。

平成 27 年度までに完成した試料作製プラントを活用し、部材製造プロセスのスケールアップを図るとともに、リグノ CNF 強化樹脂材料の社会実装において重要な加工技術の開発を継続する。またサンプル提供によるユーザー評価を促進し、製造技術の確立・改善を進

める。

(実施体制：国立大学法人京都大学、王子ホールディングス株式会社、日本製紙株式会社、星光PMC株式会社、地方独立行政法人京都市産業技術研究所、再委託先：国立大学法人東京大学、高知県紙産業技術センター)

(1) - 2 CNF 安全性評価手法の開発

CNF の分析及び有害性試験手法の開発、CNF の排出・暴露評価手法の開発を開始する。

CNF の分析及び有害性試験手法の開発では、1 種以上の CNF の単糖化等の手法による生体への取り込みの把握に必要なレベルの CNF を検出・定量する手法の確立、気管内投与試験のための CNF 試料調製・計測と CNF 試料調製条件と分散液中の粘度等の物理化学的特性との関係性の取得、皮膚細胞を使用した培養条件・評価項目等の検討を開始する。

CNF の排出・暴露評価手法の開発では、既存のナノ材料計測手法の排出 CNF への適用について、適した手順や条件の検討を開始する。

なお、研究開発項目②(1)と連携して行う。

(実施体制：公募により決定予定)

(1) - 3 木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価

木質系バイオマスの特性解析、パルプ特性解析、CNF 特性解析、CNF 用途適正評価、CNF 原料評価手法の開発を開始する。

木質系バイオマスの特性解析では、主要な林業樹種であるスギを対象に、CNF 原料である木質系バイオマスの物理特性及び化学特性を解析する。

パルプ特性解析では、主要な林業樹種であるスギを対象に樹種、部位などの異なるそれぞれの原料について、クラフト法、ソーダ AQ 法によりパルプ化し、パルプ性能評価、解繊性の分析を行う。

CNF 特性解析では、上記で製造したパルプについて、疎水化変性法による CNF 製造及び特性解析、親水性 CNF の製造及び特性解析を行う。

CNF 用途適正評価では、疎水性 CNF 及び親水性 CNF について用途適正評価を行う。具体的には、疎水性 CNF については、樹脂とのコンポジットの物性を評価する。また、親水性 CNF については、増粘性特性、フィルター性等について評価する。疎水性 CNF の樹脂とのコンポジットの物性評価については、研究開発項目②(1) - 1 と連携して行う。

CNF 原料評価手法の開発では、主要な樹種であるスギを対象に樹種別、部位別に得られた木質系バイオマスの材質特性、パルプ特性、CNF 特性、用途適正評価により得られた結果を総合的に解析し、CNF 製造メーカーが用途に応じて効率的に高機能 CNF を製造できるような原料評価手法の開発を開始する。

(実施体制：公募により決定予定)

(2) 木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発

昨年に引き続き、平成 29 年度も各成分利用事業者が木質バイオマスから化成品原料に至る製造プロセス技術を実験室レベルで検証し、バイオマス原料による課題を解決する。一貫プロセスとするための各工程を連続にするために接続部分の条件等の詰めを行う。これらを経て、次年度に向けて一貫製造プロセスモデル案を構築し、そこでのベンチスケールでの経済性実証が行える計画案を確立する。リグニンの利用については、高分子のリグニンをそのまま使える工程の開発に注力すると共に工業的原料としてのリグニンの管理すべき性状分析と管理手法の確立を行う。一貫プロセスの構築に当たっては各成分利用グループ間の情報共有など連携を強化して推進する。

(原料化技術開発)

一貫プロセス構築に向けて必要となる各成分サンプルを一定品質で提供できるように、原材料化プロセスを整備する。原料の供給に当たり、川下の求める条件と適合できるようにすり合わせを行う。特にリグニンについては樹脂化に利用し易いような性質が発現できるような改良を念頭に、蒸解条件検討や分画等の技術検討を引き続き行う。トータルプロセスの付加価値を増加させるための高付加価値物であるバニリンについては黒液からの効率的な分離技術である CO₂ 超臨界抽出技術の開発を継続する。

本プロジェクトで対象とする一貫プロセスについて、種々の生産技術との組み合わせが最適となる選択ができるような設備コストや利用可能な廃熱、副製品の有効利用、廃棄物の処理コスト等を考慮し、構造の最適化を評価できるシステムを構築する。またプロセス全体として LCA 評価を行い、一貫プロセスの持つ利点を明確にする。

(リグニン活用技術開発)

フェノール系熱硬化性樹脂合成法の開発では、平成 28 年度に確立したソーダリグニンを原料とした基本製法のスケールアップ検討を行い、5 L スケールの合成法を確立する。プロジェクト内の原料化検討結果や樹脂原料の最適化検討の知見をもとに、リグニン原料に必要な評価指標、スペックについての検討を行う。成形材料化評価及びコスト試算を行い、特性/コスト面から石油由来フェノール樹脂に対する優位性の検証を行う。

エポキシ樹脂の開発では、平成 28 年度に引き続き、高機能化を目指したソーダリグニンの分画の検討とソーダリグニンに適した効率的なエポキシ樹脂化法の開発を行う。工程管理に必要な要因を明確にし、コスト試算を行う。また、バイオマスからエポキシ樹脂原料の直接生産を目的として、ソルボリシス分解法の工業化に向けた検討を行いコスト面から評価を行う。

重水素化学品開発では、得られた有用成分の重水素化技術開発、高付加価値化合物への誘導体化など製品化検討技術開発を行う。また実際に重水を使用しバッチ式マイクロ波装置を用いてリグニンの分解反応を行い直接重水素化が行える事を検証する。装置の腐食状態の確認を行い、連続式装置の設計を行う。

ポリウレタンフォームの開発においては、ポリオール中のリグニン濃度、リグニン構造を

調整する事により、用途に応じた諸物性をポリウレタンフォームに付与できる技術を開発する。

リグニン品質管理方法の開発では、二次元 NMR 等により詳細な構造分析を行い、工業原料としての特性を明確にする。また、平成 28 年に開発した精密分子量測定法及び熱分析メソッドについて、改良と評価を行う。

(セルロース活用技術開発)

セルロースからレブリン酸/エステル及びヒドロキシメチルフルフラールの効率的製造プロセスの開発を継続し、ベンチスケールに向けた製造プロセス確立を目指す。

改良アルカリ蒸解で得られるセルロースからレブリン酸/エステル合成に対して、平成 28 年度までに構築した酸触媒プロセスでの触媒改良及び主・副生物ハンドリング等を考慮したプロセスフローを元に平成 29 年度目標値を達成する。また、レブリン酸/エステルを原料とする化学変換では、ターゲット物質の品質と触媒寿命評価を更に進めて高効率製造プロセス開発を行い、スケールアップ実証へ向けたセルロースからエンブラ用モノマー原料までの一貫製造プロセス確立を目指す。

ヒドロキシメチルフルフラール (HMF) については、平成 28 年度までに得られた成果を活用しながら、出発原料としてセルロースと糖の比較検証をおこなう。また、セルロースまたは糖から HMF を経由したポリマーまでのプロセス連結を完成させ、グラムスケールでの一貫製造の実証をおこなう。

(糖活用技術開発)

昨年度からの継続課題として、化学品製造用の C 6 糖をベンチスケールで調製して、各社に対し必要量提供を行う。また糖品質の課題に対して、糖製造プロセスでの対応可否について検討を進める。また昨年度、取り組みを開始した C 6 画分からグルコースとオリゴ糖の併産技術においては、C 6 糖 (グルコース) に含まれるオリゴ糖の低減が課題であり、酵素改変と膜分離プロセス改善により、C 6 糖画分のグルコース純度向上に取り組む。また、オリゴ糖については、腸内分解性及び善玉菌の増殖活性の試験管評価と、安全性評価 (重金属、急性毒性、変異原性有無) を進める。

DOI からの機能性化学品の開発では、DOI 生産大腸菌の培養条件最適化及び生産律速因子の更なる強化によって、木材チップ由来糖化液原料から DOI 生産性 70g/L(32hr)を達成する。また発酵液からの DOI 精製に関しては、膜利用技術とイオン交換樹脂利用技術を組み合わせ、TGB 想定価格 3000 円/kg に見合う精製コストを実現する。DOI サンプル調製については、試薬糖原料から 1kg/月の DOI 安定供給を達成する。最終製品の第二候補である 2-hydroxy-4,5-dimethoxybenzoic acid phenyl ester (DBAP) に関しては、1,3,4-tris(glycidyl-oxy)benzene(TGB)に注力するため、研究を減速する。TGB に関しては、合成中間体である THB の精製方法を確立するとともに、TGB 合成プロセスの最適化を目指す。プロセス技術の開発については、ベンチレベルの製造プロセス設計を行う。

3-ヒドロキシプロピオン酸(3HP)の開発では前駆体であるマロニル CoA は細胞膜の構成

成分である脂質の合成にも使用されるため、菌体の増殖と 3HP 生産を分離することで、投入した糖を 3HP 生産に振り向け対糖収率や発酵速度の向上を図る。また精製に影響を与える可能性がある有機酸の副生を抑制することで精製負荷の軽減を図る。さらに二機能性酵素である *Chloroflexus aurantiacus* 由来マロニル CoA レダクターゼの活性向上を検討する。またピルビン酸脱炭素酵素やアルコール脱水素酵素の遺伝子を削除することで副経路への炭素の流出を抑制し 3HP 生産に適した代謝系に改変する。リシノール酸の開発ではリシノール酸生産のために必須な酵素 FAH12 が、酵母の培養温度 (30℃) 以上において機能が著しく低下するため、FAH12 を高機能化することによって酵母の生育に適した温度においてリシノール酸を安定に生産することができる菌株の構築を目指す。

糖類からのジオール製造技術の開発においては、C6 糖類から水素化反応、脱水反応によってイソソルビドを得る工程の技術開発を継続する。前段の糖の水素化については、木質バイオマスの蒸解物から得られる非可食糖液を用いた場合の反応条件依存性を確認した後、数百 cc のスケールで木質バイオマス由来の糖アルコールを試作する。後段の脱水工程については、予備的に制作した反応装置を用いて連続反応の反応条件依存性を調べ、コスト試算等に用いる基礎データを取得する。また、木質バイオマス由来糖アルコールの脱水反応を行い、イソソルビドの生成とその反応速度を確認するとともに、副生物やマスバランス等を確認し、問題点を抽出する。

(実施体制：日本製紙株式会社、国立研究開発法人森林総合研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所 (中国)、国立大学法人東京大学、住友ベークライト株式会社、国立大学法人京都大学 (工学研究科)、宇部興産株式会社、ユニチカ株式会社、国立大学法人京都大学 (生存圏研究所)、日本化学機械製造株式会社、日本化薬株式会社、大陽日酸株式会社、東レ株式会社、旭硝子株式会社、三井化学株式会社、新潟バイオリサーチパーク株式会社、学校法人新潟科学技術学園新潟薬科大学、三菱ケミカル株式会社一再委託： 国立研究開発法人産業技術総合研究所 (東北)、国立大学法人京都大学 (化学研究所)、国立研究開発法人産業技術総合研究所 (つくば)、株式会社 IHI プラントエンジニアリング、DIC 株式会社、国立大学法人九州大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所 (中国)、学校法人関西大学、国立大学法人東北大学、株式会社東レリサーチセンター、学校法人金井学園福井工業大学)

5. 2 平成 29 年度事業規模 (予定)

需給勘定 1,050 百万円 (委託)

※事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 評価

NEDO は、(1) 事業の位置付け・必要性、(2) 研究開発マネジメント、(3) 研究開発成果、(4) 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みの 4 つの評価項目について、外

部有識者による研究開発の中間評価及び事後評価を実施する。

中間評価は、研究開発項目②（１）－１及び②（２）を評価の対象とし、平成 29 年度に実施する。事後評価は、研究開発項目①及び②を対象とし、研究開発項目①については平成 29 年度に、研究開発項目②については、平成 32 年度に実施する。

なお、中間評価等の結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止、及び助成事業への移行等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

（２）運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置されるプロジェクト推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、随時、プロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、必要に応じて、ユーザーとの連携を促す等、成果の早期達成が可能になるよう努める。成果の早期達成が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。NEDO は、「革新的触媒による化学品製造プロセス技術開発プロジェクト」の下で実施する経済産業省の事業と、進捗状況や課題・成果等について必要に応じて情報共有等を行うなど、連携について検討するものとする。

（３）複数年度契約の実施

委託事業

研究開発項目②（１）－１、②（２）：平成 25～29 年度の複数年度契約を行う。

研究開発項目②（１）－２、②（１）－３：平成 29～31 年度の複数年度契約を行う。

助成事業

平成 25～28 年度の複数年度交付を行う。

（４）知財マネジメントにかかる運用

「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する（研究開発項目②のみ）。

7. 実施方針の改定履歴

（１）平成 29 年 2 月、制定

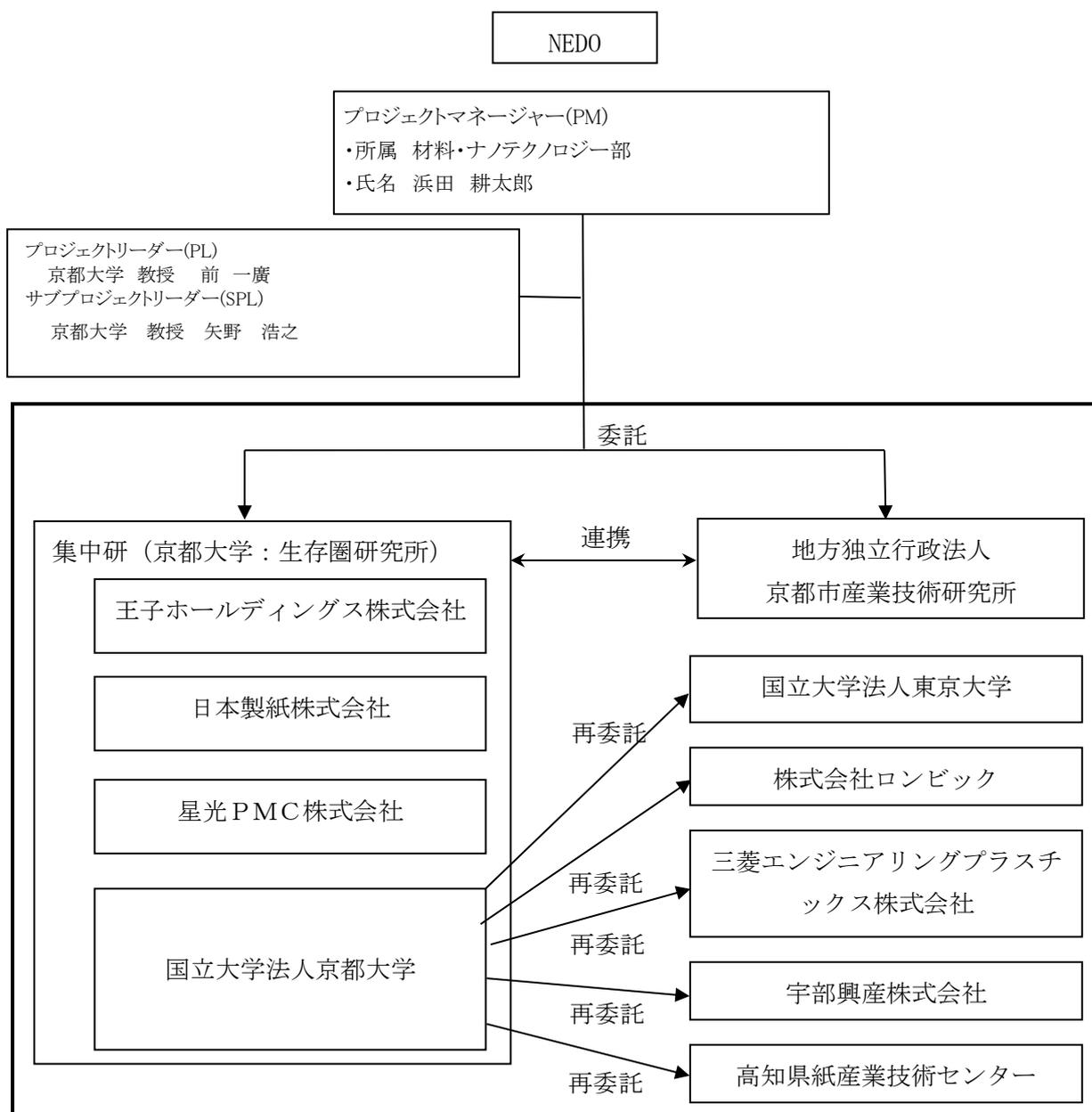
（２）平成 29 年 12 月、追加公募に伴う実施体制の変更、再委託先の変更に伴う実施体制の変更、サブプロジェクトリーダーの委嘱・委嘱解除に伴う実施体制の変更等

(別紙) 事業実施体制の全体図

研究開発項目②木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発 (委託)

(1) セルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発

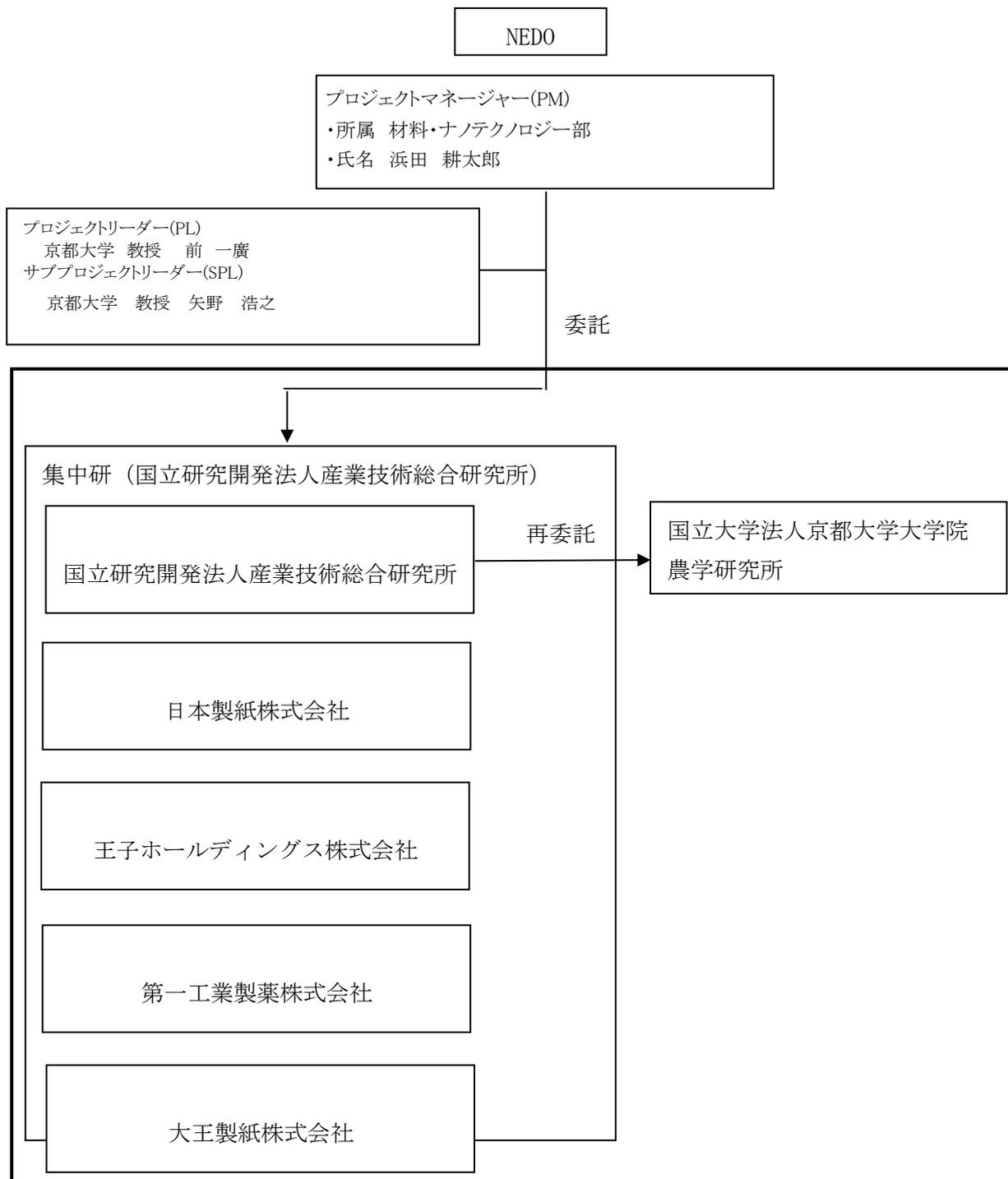
(1) -1 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発



研究開発項目②木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発（委託）

(1) セルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発

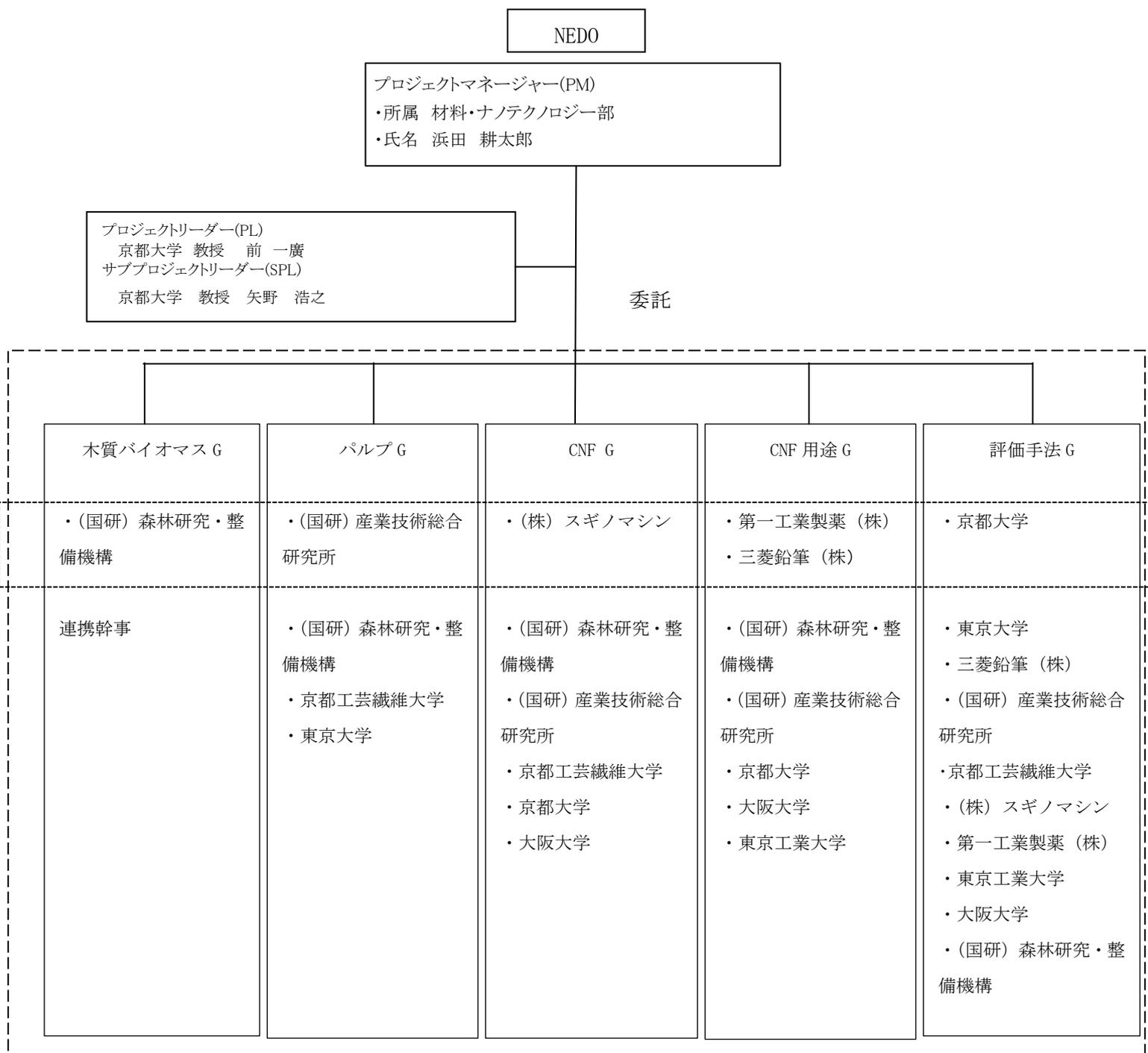
(1) - 2 CNF 安全性評価手法の開発



研究開発項目②木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発（委託）

(1) セルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発

(1) - 3 木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価



研究開発項目②木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発（委託）

(2) 木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発

