

平成28年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

1. 件名：プログラム名：ナノテク・部材イノベーションプログラム
(大項目) 低炭素社会を実現するナノ炭素材料実用化プロジェクト
(旧：低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト)

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15条第1号ニ、第3号

3. 背景及び目的・目標

カーボンナノチューブ、グラフェン、フラーレン等のナノ炭素材料は、その発見、又は、その後の研究の進展に日本の研究者が大きく貢献し、日本が世界トップレベルにある材料である。これら炭素材料は、非常に軽量であることから構造部材へ応用することで、高いエネルギー利用効率を期待することができる。また、電気や熱の伝導率が高く、放熱部材への応用や、導電性材料への応用で、省エネルギー効果を高めることも期待できる。資源に乏しい我が国では、無尽蔵ともいえる炭素を利用して、材料産業を活性化することが、国益に大きく貢献すると考えられる。

ナノ炭素材料のうち、特にカーボンナノチューブ（以下、「CNT」という。）は日本で発見され、そのユニークな構造と物性から、発見以来種々の興味深い機能が見いだされ、ナノテクノロジーの中心的な存在である。CNTはその構造から、多層CNT、単層CNTに大別される。多層CNTは、比較的生産が容易であることから、国内においても年数百トンレベルで生産され、Liイオン電池電極導電補助材等への実用化が推進されているが、用途が期待されたほど広がらず、かつ低コストで販売される海外の多層CNT素材との価格競争にさらされており、販売が伸び悩んでいるのが現状である。このため、CNTの優れた性能を生かせる新しい用途開発が急務となっている。また、新たな特性を有するCNTとして、近年、数層(2、3層)CNTが発表された。これらのCNTは分散性と電氣的な特性を比較的両立するのが容易であるとの観点から、にわかに着目を浴びている。

一方、単層CNTは、多層CNTに比べ、軽量、高強度で高い柔軟性、電気や熱の高伝導性、半導体特性等、多くの優れた特性を持つ。この単層CNTは、様々な既存の素材と複合させることにより、従来にない機能や特徴を持つ新機能材料となることが期待されている。また、単層CNTの工業的量产が間近になり、単層CNTの実用化に対する機運が非常に高まっている。日本は単層CNTの実用化研究において、世界に対して優位性を有しているが、単層CNTの用途をさらに拡大し、実用化を促進することが不可欠である。

グラフェンは、数年前から世界中で研究が活発化しており、CNTと同様の分野での実用化を目指している。既に、その基本的な産業応用の可能性が把握されつつあり、電子デバイスや熱伝

導材など実用化に近い用途も現れている。

フラーレンはCNTやグラフェンに対して発見が早く、研究開発も長期間行われているが、産業応用はそれほど進んでいない。既存材料であるカーボンブラックと比較して、コスト的な利点を見いだすことができなかったためである。しかしながら、近年、抗酸化剤や、有機半導体太陽電池への利用で、他の材料では実現できない特性を發揮することが明らかになり、注目されている。

本プロジェクトでは、ナノ炭素材料（単層CNT、多層CNT、グラフェン、フラーレン）が新たな実用化の段階に入ってきたものと捉え、本プロジェクトは新たなフェーズに移行した新事業として、これらナノ炭素材料の実用化を加速する。これにより我が国の炭素産業の活性化を目指す。

また、実用化に通じる安全性に係る技術の確立、分散体評価技術を共通基盤技術として開発し、試料提供、技術移転等を通じて、実用化を目指す企業をサポートする。

本プロジェクトは「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として、新たな複合材料の開発を通じて、新たな成長産業の創出による経済成長及び低炭素社会実現への貢献を目指し、我が国産業の国際競争力の維持・強化に資することを目的とする。本プロジェクトにおいては、以下の研究開発を実施する。

[助成事業（助成率：1／2）]

研究開発項目① 「ナノ炭素材料の実用化技術開発」

（平成23年度選定テーマ）

- ①-1 「高熱伝導率単層CNT複合金属材料の応用研究開発」（旧研究開発項目④）
- ①-2 「導電性高分子複合材料の開発」（旧研究開発項目⑤）
- ①-3 「単層CNT透明導電膜の開発」（旧研究開発項目⑥）

（平成26年度選定テーマ）

- ①-4 「ナノ炭素材料高耐熱・高熱伝導高分子複合部材の開発」
- ①-5 「ナノ炭素材料高強度複合材料の開発」
- ①-6 「ナノ炭素材料高電子移動度半導体デバイスの開発」
- ①-7 「ナノ炭素材料軽量導線の開発」
- ①-8 「ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発」
- ①-9 「ナノ炭素材料電磁波吸収部材の開発」
- ①-10 「ナノ炭素材料高密度エネルギーデバイスの開発」
- ①-11 「ナノ炭素材料大量生産技術の開発」

[委託]

研究開発項目② 「ナノ炭素材料の応用基盤研究開発」

- ②-1 「ナノ炭素材料の安全性に係る技術開発」
 - ②-1-1 「ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立」（旧研究開発項目③）
 - ②-1-2 「ナノ炭素材料及びその応用製品の排出・暴露評価技術の確立」
- ②-2 「ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発」

研究開発項目②-3 「ナノ炭素材料の応用材料技術開発」

- ②-3-1 「単層CNTの形状制御技術の開発」（旧研究開発項目①）
- ②-3-2 「単層CNTを既存材料中に均一に分散する技術の開発」（旧研究開発項目②）
- ②-3-3 「グラフェン基盤研究開発」（旧研究開発項目⑦）
- ②-3-4 「ナノ炭素材料の革新的応用材料開発」
- ②-3-5 「ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発」

各研究開発項目のうち、平成28年度に実施する項目の達成目標を以下に示す。

①-4 「ナノ炭素材料高耐熱・高熱伝導高分子複合部材の開発」

最終目標（平成28年度）

ナノ炭素材料と高分子材料を複合化することで、高耐熱性、高熱伝導性を有する高分子複合部材を開発する。耐熱性、化学的耐久性、熱伝導率の各性能で従来製品を凌駕する特性を確認し、事業化の見通しを得る。

①－５ 「ナノ炭素材料高強度複合材料の開発」

最終目標（平成２８年度）

既存材料の機械的強度を高めるため、ナノ炭素を用いた高強度複合材料を開発し、応用製品を考慮した状態で実用に耐えうる特性を有することを確認する。

①－６ 「ナノ炭素材料高電子移動度半導体デバイスの開発」

最終目標（平成２８年度）

高電子移動度半導体デバイスを実現するため、半導体型CNTを商業的に利用可能な分離技術を開発し、装置の試作を行う。また、ナノ炭素材料が持つ高電子移動度性を十分に発揮する半導体デバイスを開発し、その効果を実証する。

①－７ 「ナノ炭素材料軽量導線の開発」

最終目標（平成２８年度）

ナノ炭素材料を用いた軽量導線を開発し、強度、導電性の各性能面で金属導線を代替できる特性を有することを確認する。

①－８ 「ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発」

最終目標（平成２８年度）

高い導電性と柔軟性を合わせ持つフレキシブル薄膜を、数種類のナノ炭素材料を用いて試作し、その特性を評価することで、それぞれに最適な作製技術を開発する。作製されたフレキシブル薄膜を評価し、フレキシブル薄膜に最適なナノ炭素材料を見出す。

①－９ 「ナノ炭素材料電磁波吸収部材の開発」

最終目標（平成２８年度）

原料となるナノ炭素材料の安定、連続生産技術を開発し、用いるナノ炭素材料の電磁波シールド性、熱伝導性を利用し、実用性に優れた電磁波吸収部材を開発する。また、試作品を評価し、実用化に供することを確認する。

①－１０ 「ナノ炭素材料高密度エネルギーデバイスの開発」

最終目標（平成２８年度）

ナノ炭素を二次電池等の電極へ適用することで、高いエネルギー密度、及び長寿命等の特性を備えることを確認し、実用化に供する負極材等を開発する。また、合わせて量産時に必要となる周辺技術に関しても、開発を行う。

①－１１ 「ナノ炭素材料大量生産技術の開発」

最終目標（平成２８年度）

上記ナノ炭素材料を利用したアプリケーションを実用化する場合に供給が必要となる、効率的な合成技術、及び分散技術を開発する。また、その効果を評価することで、実用化に供することを確認する。

②-1-2 「ナノ炭素材料及びその応用製品の排出・暴露評価技術の確立」

最終目標（平成28年度）

ナノ炭素材料、及びその応用製品の排出・暴露評価のデータ計測を行い、その評価技術を確認した上で、排出・暴露評価手引きとして策定し、普及を図る。また、応用製品に使用されるナノ炭素材料の有害性評価手法（培養試験を活用した簡易手法）のために最低限必要な試験項目や試験系を設定した上で、動物試験によるデータ補完も含めた自主安全性評価手順として、ナノ炭素材料の安全性試験総合手順書を策定し、普及を図る。これらの安全性評価手法等に基づき、具体的なナノ材料に適用した安全管理例（ケーススタディ）報告書を作成する。

安全性試験総合手順書、排出・暴露評価手引き、安全管理例（ケーススタディ）報告書を活用して技術普及を行う。また、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組を行っている経済産業省の担当課など日本の窓口機関と連携し、データ提供等を行う。

②-2 「ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発」

最終目標（平成28年度）

ナノ炭素材料の分散液等分散体の評価技術として、溶液中のナノ炭素分散体のサイズ・分布、バンドル間隔、解れ等を定量的に示す指標を開発し、ナノ炭素に対して、それぞれに最適な分散体を開発する指針を策定する。分散手法や分散液等分散体の評価技術は、企業、大学等の外部機関に対して、マニュアル化して提供する。

分散液等分散体の評価技術では、各CNT分散サイズ・分布を400nm～1mmの範囲で解析し、バンドル間距離を最小0.01μmの空間精度で、また電位を0.5mVの精度での評価技術を開発する。

また、ナノ炭素分散体中のCNT等による熱や電気伝導パスを10μmの空間精度で実空間計測できる評価手法を開発する。用途開発企業の複合材料に対し、開発された評価手法を適応することで、高機能化への開発指針を策定する。

②-3-4 「ナノ炭素材料の革新的応用材料開発」

最終目標（平成28年度）

工業的に量産が可能で、大きな市場が目指せる革新的応用材料として、次の項目等を開発する。(1) 超高強度炭素繊維用分散剤を開発し、層間靱性0.4Nm以上を達成する。(2) 350℃の耐熱性を有するナノ炭素ゴム応用材料、450℃の耐熱性を有するナノ炭素樹脂応用材料を開発する。その生産能力は5kg/h以上と

する。(3) 100℃以下の温度で、既存の銅配線と同等以上の導電性・許容電流密度・熱伝導性を有し、30%軽量なナノ炭素銅線材と配線を開発する。また、これまで両立が難しかった長尺、高品質を特徴とした、長さ500μm以上、G/D比が50以上のCNT集合体を合成し、導線等応用技術へ適用可能であることを確認する。

また、研究開発成果については、サンプル提供を実施し、その結果を研究開発へフィードバックすることで、より応用を見据えた研究開発とする。

②-3-5 「ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発」

最終目標（平成28年度）

ナノ炭素材料の高品質で工業的な大面積薄膜形成技術開発を行う。グラフェン等のナノ炭素材料の気相化学蒸着（CVD）法、塗布法、高分子焼成法等による工業的な薄膜形成技術の開発を行い、大面積ナノ炭素材料薄膜を企業、大学等の外部機関に対してサンプル提供可能とする。また、ナノ炭素材料の低欠陥化技術を開発し、グラフェンの導電率10,000S/cm以下等を実現し、グラフェン薄膜の高品質化を図る。タッチパネル、電磁波遮蔽、有機EL、トランジスタ等の用途に向けた要求仕様を満たすナノ炭素材料薄膜の大面積薄膜形成技術としてロールツーロールの薄膜形成、及び転写法によるA4サイズ100枚/時間相当の工業的量产基盤技術等を開発する。さらに、大面積化が可能な手法で合成するグラフェンで、デバイス等へ適用する際に、他の材料に対し有意な差となるキャリア移動度20,000cm²/Vsを実現する基礎技術を確立する。

また、研究開発成果については、サンプル提供を実施し、その結果を研究開発へフィードバックすることで、より応用を見据えた研究開発とする。

4. 実施内容及び進捗（達成）状況

4. 1 ナノ炭素材料の実用化技術開発[助成事業]事業内容

本プロジェクトでは、委託事業において、各種用途に応じてそれぞれの要求特性を満たす最適な形状の単層CNTの合成技術及び成形加工・分散技術、既存材料と融合する技術を開発していた。

一方、単層CNTの応用開発事例はほとんどなかった。日本発の炭素組成材料の研究として、海外と比べ技術的優位性を持っていながらも、実用化に至っていないのが実情であった。CNTの潜在的な物理特性を活かすためにも単層CNTに特化した応用研究開発を加速する必要があった。

本助成事業では、委託事業で開発した成果を活用すべく、「高熱伝導性単層CNT複合金属材料の応用研究開発」、「導電性高分子複合材料の開発」及び「単層CNT透明導電膜の開発」を行うこととし、これらの材料を活用した材料特性評価、加工技術を確立し、有望なアプリケーションの提案を行うこととした。

研究開発項目①-1（旧研究開発項目④）「高熱伝導率単層CNT複合材料の応用研究開発」

研究開発項目①-2（旧研究開発項目⑤）「導電性高分子複合材料の開発」

研究開発項目①-3（旧研究開発項目⑥）「単層CNT透明導電膜の開発」

また、平成26年度から、実用化研究を拡張するため、以下の8つの研究開発項目を追加した。

研究開発項目①-4 「ナノ炭素材料高耐熱・高熱伝導高分子複合部材の開発」

研究開発項目①-5 「ナノ炭素材料高強度複合材料の開発」

研究開発項目①-6 「ナノ炭素材料高電子移動度半導体デバイスの開発」

研究開発項目①-7 「ナノ炭素材料軽量導線の開発」

研究開発項目①-8 「ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発」

研究開発項目①-9 「ナノ炭素材料電磁波吸収部材の開発」

研究開発項目①-10 「ナノ炭素材料高密度エネルギーデバイスの開発」

研究開発項目①-11 「ナノ炭素材料大量生産技術の開発」

平成27年度における主な成果概要は以下の通りである。

研究開発項目①-4：[日本ゼオン、日信工業]

- ・ 界面学制御技術を導入した高温、高耐圧性複合材の製品形状試作を行い、製品適合性試験にて問題がないことを確認した。また、発熱体複合材料で電気抵抗安定性±10%の目標を達成見込みであり、耐熱シリコンゴム材料で高強度と耐熱性を両立させる見通しを得た。
- ・ 電子デバイスの放熱対策を向上させるための放熱材料開発に必要な技術を確立した。SGCNTを中心に特殊な製造プロセスと融合する中で、目標の熱伝導率と硬度との実現に成功した。開発した放熱材料を電子デバイスに組込む事で、優れた温度低減効果を実現できる事を確認した。

- ・ SGCNTゴム複合材料からなる部材について、長期シール性に影響を与える因子を洗い出し、制御するための基礎検討を実施した。SGCNTの分散性や配合、成形方法等によって高温高圧耐性と長期シール性を両立できる複合化技術の目途付けを完了した。

研究開発項目①-5：[美津濃、東洋樹脂]

- ・ 複合材料におけるマトリックス樹脂に対し、表面処理を行い、官能基を有効に付与したCNTを添加することによって、凝集性の改善、及び機械的特性の向上を確認した。表面処理によって構造的欠陥を生じにくいCNTを選定することにより、衝撃強度の向上を確認した。
- ・ 高強度CNTコンポジット樹脂の高速生産技術開発において、水ベース高濃度CNT分散液の高速作製技術を確立するため、小型分散装置による基礎実験（作製条件の最適化など）の着手に向け準備を行った。

研究開発項目①-6：[NEC、東レ、住友電気工業]

- ・ 半導体型・金属型CNTを大量に分離する装置を試作し、その動作試験を行った。分離に用いる分散液の成分を調整することにより分離速度の向上及び純度向上を実現した。
- ・ 半導体型CNTの分離技術において、分離条件による収率向上を確認し、今年度の目標収率を実現した。また塗布型CNT-TFTを用いたアプリケーションでの高い特性を達成し、実現性の目処が得られた。
- ・ グラフェンテラヘルツデバイスの開発において、目標グラフェン層数を持つ領域の面積が、10mm角基板全面積に対して60%以上となるグラフェン成長技術を実現した。

研究開発項目①-7：[古河電気工業]

- ・ ナノ炭素材料軽量導線の開発において、長尺化及び高導電化用のCNT合成条件の検討を行い、収率向上を確認した。また、絶縁被覆ではCNT線表面に樹脂被覆できることを確認した。接続技術では複数の接続法を検討し、目標達成の開発方針を決定した。

研究開発項目①-8：[東レ、ユーテック]

- ・ ナノ炭素材料を用いたフレキシブル薄膜の開発において、ラージスケールで試作可能なレベルの分散、塗工技術を作り上げた。
- ・ ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発において、乾式垂直成長DWCNTの自立Alignment組織構造を活用した物質分離膜の試作を行った。

研究開発項目①-9：[パナソニック]

- ・ グラファイト/グラフェンパウダーを安定して生産することが可能になり、ゴム・樹脂への混練条件を確立した。また、電磁波遮蔽材としての性能を確認し、試作品の作製に着手した。

研究開発項目①-10：[戸田工業、三菱化学、日本ゼオン]

- ・ 電解処理等により、マリモ状MWCNT-Si粉体に直接Liの挿入脱離が可能になり挿入脱離後の、前述の粒子構造を確定し、一部成果を第56回電池討論会で報告した。NEDO目標である不可逆容量：10%以下、電極膨れ：1.5以下は達成の見込みである。新規300φ電解処理システムを準備中である。
- ・ ナノ炭素材料を用いる有機薄膜太陽電池(OPV)デバイスの開発において、フラーレン組成物層の改良を目指し、塗布液組成と成膜条件を検討した結果、従来に比し初期変換効率が1.5倍以上となる手法を見出した。
- ・ SGCNTを用いた熱電変換素子用の複合体の検討を実施した。P型材料としては、SGCNTと混合して用いられるニッケル錯体の最適化、N型材料としては、SGCNTを改質する包接化合物の最適化を行うことによって、無次元性能指数(ZT値)が大きく、大気中で安定な複合体薄膜の形成に成功した。

研究開発項目①-11：[日本ゼオン、昭和電工、GSIクレオス、日本触媒、KJ特殊紙、神戸製鋼所、名城ナノカーボン、マイクロ波化学]

- ・ 3次元基材を用いたSGCNT合成において、原料炭素源の選定及び合成条件の最適化を実施することで高収量合成を達成した。また、従来法で作製したSGCNTの合成を可能とする触媒成膜技術確立した。さらに、基材の再利用技術の目処付けをすることができた。
- ・ フラーレンの合成技術開発において、化学反応シミュレーションとラボ実験により、従来条件2倍以上の原料原単位の効率化を実現した。また、高純度・高収率のベンチスケール合成設備の建設を完了した。
- ・ 爆轟で得たナノグラファイトは、機械的複合化により、金属・樹脂等の表面部に被覆でき。この複合粒子は溶射により板に施工できた。一方、解砕・分散した微粒子はディッピング等の手法でエポキシ・樹脂等の表面部に塗布浸透できた。
- ・ CNTの高濃度化を可能にしている分散メカニズムの一端を明らかにし、各種アプリケーションを想定した目標液物性及び目標日産量が概ね達成できるような高濃度CNT分散液の量産化技術確立した。
- ・ 酸化グラフェンの大量生産技術開発において、反応の危険性評価や熱量測定、精製方法の選定や操作条件の最適化を行い、ベンチスケール試作に向けて安全で高効率なプロセスを構築した。
- ・ 混合フラーレンの分離技術の開発を行い、活性炭カラムの溶離液を変更した系で、従来比1.3倍の取得量と同等以上の分離性を確認した。さらに、カラム内での成分吸着を化学工学的に解析することにより、単成分試験の破過挙動を推算できた。
- ・ ナノ炭素材料大量生産技術の開発として、eDIPS法による連続合成装置の開発を行った。原料ガスの有効利用に関する機構の開発を進め、構造を決定した。また、連続合成にあたって諸々パラメータに関して最適な条件を明らかにすることができた。
- ・ 酸を使用せずに、高品質な剥離グラフェンを安価に量産することを目指して、マイクロ波

照射による層間剥離の検討を開始した。さらに層間剥離を効率よく行うための条件検討と、積層グラフェンの定量的評価方法の確立及び実サンプルの作成・評価の準備を行った。

4. 2 ナノ炭素材料の応用基盤研究開発[委託事業]事業内容

本プロジェクトは、経済産業省が、企業、大学等の研究機関（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって研究開発実施者を選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して、開始したものである。独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は、平成23年1月に運営・管理を承継したものであり、産業技術総合研究所の有する世界最高の単層CNT合成・分離・成形加工技術と民間企業の持つプラント開発技術、応用製品開発技術を有機的に組織し、製品開発の基盤となる融合基盤技術を開発し、これらの基盤技術の上に、様々な応用製品を開発し、我が国発の単層CNT産業を創成し、単層CNT部材が支える未来の省エネルギー社会の実現を目指した。

上記目的の実現のため、本プロジェクトでは、以下の3つの研究開発項目を実施することにより、直径、金属・半導体、純度、比表面積など種々の特性が作り分けられ、各種用途に応じてそれぞれの要求特性を満たす最適な形状の単層CNTの合成技術の開発並びに、成形加工・分散技術、既存材料と融合する技術を開発した。

研究開発項目②-1-1（旧研究開発項目③）

「ナノ材料簡易自主安全管理技術の構築」

研究開発項目②-3-1（旧研究開発項目①）

「CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発」

研究開発項目②-3-2（旧研究開発項目②）

「CNTを既存材料中に均一に分散する技術の開発」

平成26年度からは、民間企業のナノ炭素材料の実用化を強化するため、ナノ炭素材料実用化の障害になっている、ナノ炭素材料安全性評価技術、ナノ炭素材料の複合材料を他の材料と差別化するためのナノ炭素材料分散体評価技術、及び革新的材料開発を行い、我が国発のナノ炭素産業を創成し、ナノ炭素部材が支える未来の省エネルギー社会の実現を目指した。上記目的のため、NEDOが公募によって研究開発実施者を選定し、次の4つの研究開発項目を開始した。

研究開発項目②-1-2

「ナノ炭素材料及びその応用製品の排出・暴露評価技術の確立」

研究開発項目②-2

「ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発」

研究開発項目②-3-4

「ナノ炭素材料の革新的応用材料開発」

研究開発項目②-3-5

「ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発」

平成27年度における主な成果概要は以下の通りである。

研究開発項目②-1-2：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、岡山大学、京都大学、産業医科大学]

- ・ 排出・暴露量計測技術の開発を進め、10種の母材とCNTとの分離定量について、それぞれ最適な条件の検討を行った。4現場で現場計測を行い、評価結果を得るとともに計測技術の有用性を確認した。模擬排出試験を進め、10種の応用製品について評価結果を得た。
- ・ 応用製品に使用するナノ炭素材料の培養細胞試験を実施し、最低限必要な試験項目や試験系を設定するための結果を得るとともに、半導体型、金属型等の単層CNTの動物試験を実施して培養細胞試験の補完となる結果を得た。
- ・ 新規知見により既存ケーススタディ報告書の改訂を行うとともに、グラフェンに関するケーススタディの情報を取得した。本事業における培養細胞系（インビトロ）有害性評価手法開発の知見を踏まえてISO/TC229に提案しWG3/PG20で作業していた国際標準化事業の成果が2015年8月のTC229投票で承認され、ISO/TS 19337「ナノ物体固有の毒性を評価するインビトロ試験のためのナノ物体の作業懸濁液の特性」として2016年春に発行される見込みとなった。

研究開発項目②-2：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、九州大学、山形大学]

- ・ CNT分散体評価技術として、溶液中のCNT分散体のサイズ・分布を、遠心沈降法及び分散体の画像解析を用い400nm～1mmの範囲で計測する技術を開発した。さらに、ナノ炭素分散体中のCNT等による熱や電気伝導パスを100 μ mの空間精度で実空間計測できる評価手法を開発した。また、不純物等を除去することによるCNT間の結合状態への影響を定量的に評価する技術を開発し、これと複合材料の特性との相関を明らかにした。
- ・ 計算化学的手法を駆使して、脱着可能な金属錯体型及び水素結合型の脱離可能な可溶化剤を用いた分散剤を開発し、半導体ナノチューブと金属ナノチューブの分離が可能で、さらにCNTからの除去が可能であることを示した。また、その分離メカニズムを明らかにした。またこれらの半導体性SWNTと金属性SWNTの分離精製や右巻き／左巻きSWNTの分離についてのメカニズム解明を進めた。さらに、工業的分散が成り立つ、安価で安全な高効率分散剤の分子設計を行った。
- ・ 灰成分や小さな破片を含まない、一辺が50 μ m程度の大きさの1～2層酸化グラフェンをグラム単位で調製することができた。また、水に分散した状態にある個々の酸化グラフェンについて、全反射蛍光顕微鏡を用いて直接観察することに成功した。

研究開発項目②－３－４：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、スペースリンク株式会社]

- 革新的樹脂・ゴム複合材料開発として、スーパーグロス単層CNT(SG-CNT)とポリエーテルエーテルケトン(PEEK)とのCNT樹脂複合材料を、超臨界二酸化炭素を導入した二軸混練機及び射出成形で作製し420℃の耐熱性を達成した。また、革新的樹脂・ゴム複合材料開発として、SG-CNT添加により高分子の熱分解が抑制されていることを明らかにし、耐熱性が向上するメカニズムを解明した。CNT厚膜形成に適した塗工法を確立し、CNT膜の厚さが10μmの微細加工CNT楕形電極を開発した。CNTファイバーと銅を高歩留まりで電気めっきできるプロセスを開発した。
- 単層カーボンナノチューブの分散液を開発し、電解液、セパレータ、集電極などの材料を選定し、電極の形状、構造を検討して単層CNTキャパシタ素子を試作し、当初予定20Wh/Lのところを、電極レベルで40Wh/Lのエネルギー密度であることを確認。大型のパワーデバイスを単層カーボンナノチューブで実現できることが判明した。このことにより、カーボンナノチューブキャパシタが小型のチップ部品からエネルギー蓄積や回生電力吸収用など大型パワーデバイスまで広い領域に利用できることが分かったので、今後応用範囲が画期的に拡大する。

研究開発項目②－３－５：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構]

CVD法による薄膜形成技術の開発では、A4サイズの大面積グラフェン透明導電薄膜の工業的な形成技術を開発し、導電性向上に成功した。溶液プロセスを用いたグラフェン薄膜形成法の開発では、黒鉛からの剥離法を改良し、グラフェン薄膜と集積膜の導電率の向上に成功した。高分子焼成法による薄膜形成技術の開発では、高分子薄膜の熱処理過程の改良によりキャリア移動度の向上に成功した。

4.4 実績推移

	22年度	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
一般勘定 (百万円)	1500 (経済産業省)	2440 (NEDO)	1950 (NEDO)	1540 (NEDO)	0	0
需給勘定 (百万円)	0	0	0	0	1540 (NEDO)	1750 (NEDO)
特許出願件数 (件)	0	10	8	14	28	25
論文発表数 (報)	6	14	18	18	5	10

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 小久保 研を任命し、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、プロジェクトリーダーを設置し、以下の研究開発を実施する。必要に応じ、プロジェクト成果普及のため、講演会等を行う。実施体制については、別紙を参照のこと。

5. 1 平成28年度事業内容

(1) ナノ炭素材料の実用化技術開発 [助成事業]

①-4 「ナノ炭素材料高耐熱・高熱伝導高分子複合部材の開発」

ナノ炭素材料と高分子材料を複合化し、従来にない高耐熱性、高熱伝導性を有し、かつ実用的な高分子複合部材を開発する。

①-5 「ナノ炭素材料高強度複合材料の開発」

既存材料の強度を高めるため、ナノ炭素を複合化し実用に耐えうる特性を有することを確認する。

①-6 「ナノ炭素材料高電子移動度半導体デバイスの開発」

ナノ炭素材料が持つ高電子移動度性を十分に発揮し、実用に供する半導体デバイスを開発する。

①-7 「ナノ炭素材料軽量導線の開発」

金属導線を代替できる特性を有する軽量導線をナノ炭素材料を用いて開発する。

①-8 「ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発」

ナノ炭素材料を用いて、高い導電性と柔軟性を合わせ持つフレキシブル薄膜を開発する。

①-9 「ナノ炭素材料電磁波吸収部材の開発」

ナノ炭素材料の電磁波反射特性、熱伝導性を利用し、実用性に優れた電磁波吸収部材を開発する。

①-10 「ナノ炭素材料高密度エネルギーデバイスの開発」

ナノ炭素を二次電池等の電極へ適用することで、高いエネルギー密度、及び長寿命等の特性を備えることを確認し、実用化に供する負極材等を開発する。

①-11 「ナノ炭素材料大量生産技術の開発」

上記ナノ炭素材料を利用したアプリケーションを実用化する場合に必要なナノ炭素材料を大量生産するための技術開発を行う。

(2) ナノ炭素材料基盤技術開発 [委託事業]

② ナノ炭素材料の応用基盤技術開発

②-1 ナノ炭素材料の安全性に係る技術開発

②-1-2 ナノ炭素材料及びその応用製品の排出・暴露評価技術の確立

- ・ ナノ炭素材料の複合材料の切断、摩耗、破砕などのプロセスで発生するナノ炭素材料と母材等の混合粒子について、ナノ炭素材料と母材を分離定量する方法を検討し、それぞれ分離能と最適条件を得るために現場計測を行う。
- ・ 計測技術及び現場調査や模擬試験の結果を事例として取りまとめた「ナノ炭素材料の排出・暴露評価の手引き」（仮称）を作成する。
- ・ 応用製品に使用されるナノ炭素材料を対象に、培養細胞試験による有害性評価を実施する。
- ・ 細胞試験及び動物試験における試験方法や試験結果を、本プロジェクトの最終成果である「安全性試験総合手順書（仮称）」に記載し、一般に公開し、事業者によるナノ炭素材料の自主安全管理の支援を目的にした安全性評価手法の普及に役立てる。

②-2 ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発

- ・ ナノ炭素材料の分散液等の分散体評価技術として、液中の分散体サイズ・分布、バンドル間隔、ほぐれ等を定量的に示す指標を開発し、ナノ炭素に最適な分散体開発の指針を策定する。
- ・ 母材中に存在するCNT分散体の状態を総合的に評価する手法の開発を行う。また、計算機シミュレーションによって、動的なネットワーク構造形成過程や、構造の制御に繋がる動的メカニズムの解析を行う。
- ・ 低コストで、かつ取り扱いが容易で安全な、CNT表面からの脱離が可能な可溶化剤を開発する。
- ・ 様々なCNT原料を用い、長尺化のための連続紡糸を可能にするCNT分散体の条件を解明する。
- ・ グラフェン分散体の蛍光顕微鏡観察技術において、顕微鏡観察条件の高解像度化、分散体開発キットの試作及び展示会等での成果の発信を行う。

②-3 ナノ炭素材料の応用材料技術開発

②-3-4 ナノ炭素材料の革新的応用材料開発

- ・ 超高強度炭素繊維用分散剤を開発し、高い層間靱性を達成する。
- ・ ゴムを母材として350℃での耐熱性を有するナノ炭素ゴム応用材料、樹脂を母材として450℃での耐熱性を有するナノ炭素樹脂応用材料を開発する。
- ・ CNT銅シート、CNT銅線材の生産効率を向上させ、大面積化が可能で生産性の高い塗工CNT膜の電気めっき銅複合化技術の開発を行う。
- ・ マイクロキャパシタの平面面積を低減しデバイスの高密度実装が可能になるような高い電気容量を持つマイクロキャパシタを標準規格サイズで実現する。

②-3-5 ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発

- ・ 気相化学蒸着（CVD）法による薄膜形成技術の開発については、より高い結晶

品質のグラフェン合成を電子顕微鏡観察により確認し、合成条件による品質の違いを明らかとする。また、RF励起や、普及型の銅箔を利用して高品質なグラフェンを得る指針を獲得する。ハイスループットでロールツーロール合成するグラフェン透明導電フィルムについては高品質化目標値を達成する。

- ・高品質なh-BN基板にグラフェンを転写する技術を確立すると同時に、そのグラフェン/h-BN構造のデバイス作製技術及び評価を確立する。
- ・高分子焼成法による薄膜形成技術の開発については、これまでよりさらに薄い1～2μmの厚さの高分子薄膜の安定した製造方法の確立に取り組む。さらに、厚さ範囲と面積の更なる拡大化や、引っ張り焼成法の課題であるブツの低減・解消に取り組む。

5. 2 平成28年度事業規模

需給勘定（平成28年度通常予算額） 1, 500百万円

事業規模については変動があり得る。

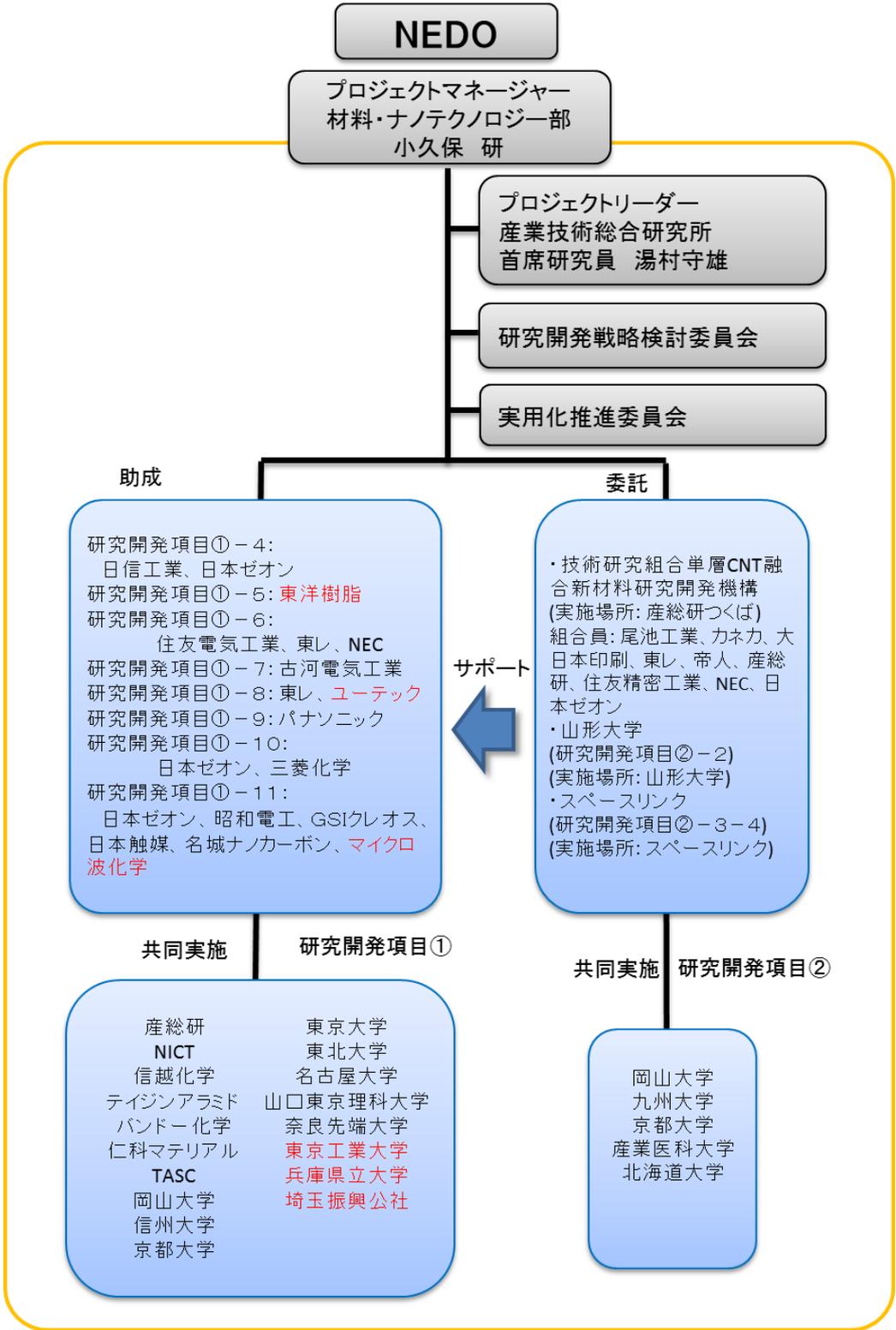
6. その他重要事項

(1) 評価の方法

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、将来の産業への波及効果等について、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を実施する。事業終了後の平成29年度に本事業の事後評価を行う。

7. 実施方針の改定履歴

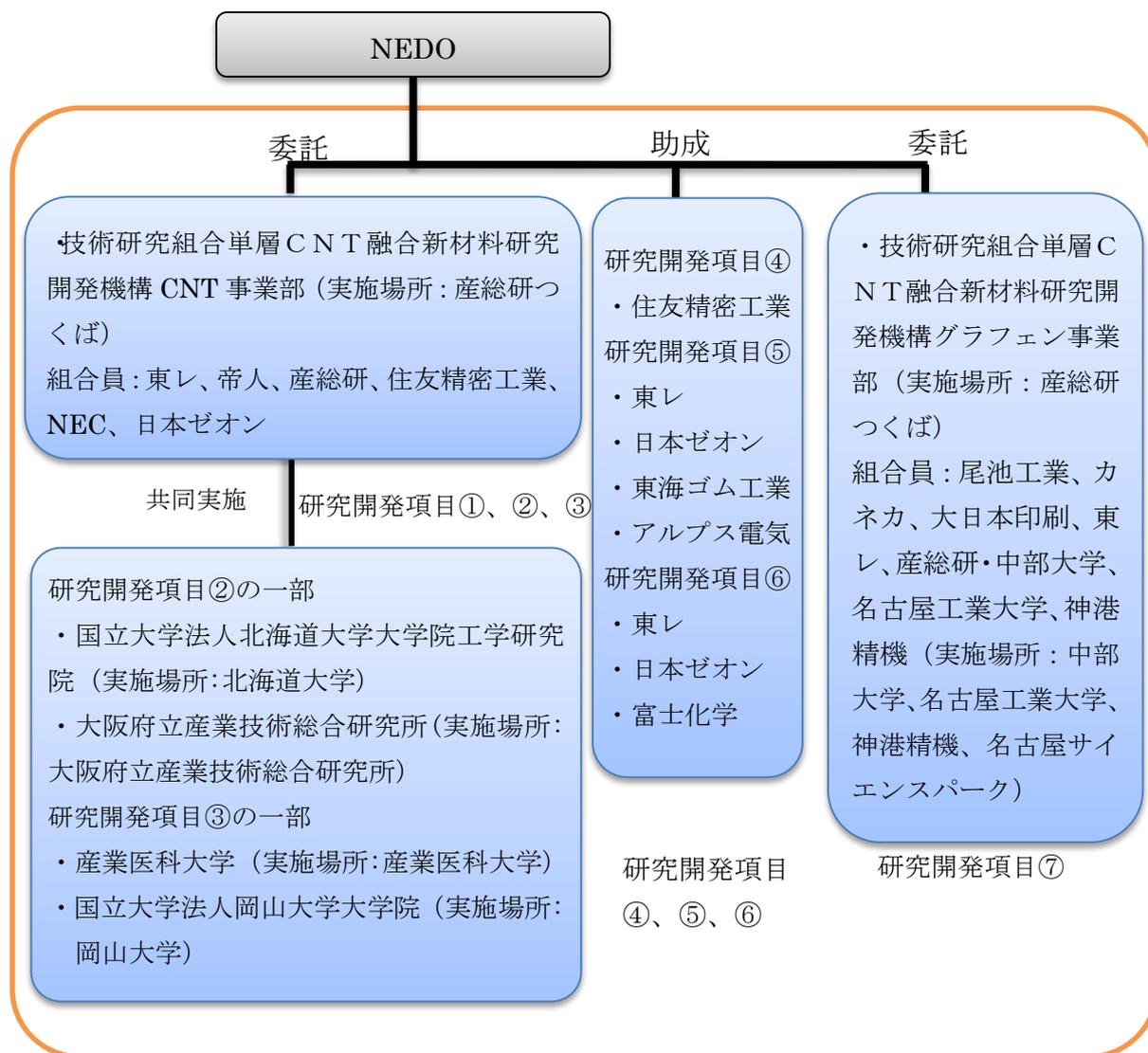
(1) 平成28年 3月 制定



研究開発項目① : ナノ炭素材料の実用化技術開発

研究開発項目② : ナノ炭素材料の応用基盤技術開発

旧体制



- 旧研究開発項目① : 単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発
- 旧研究開発項目② : 単層CNTを既存材料中に均一に分散する技術の開発
- 旧研究開発項目③ : ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立
- 旧研究開発項目④ : 高熱伝導率単層CNT複合材料の応用研究開発
- 旧研究開発項目⑤ : 導電性高分子複合材料の開発
- 旧研究開発項目⑥ : 単層CNT透明導電膜の開発
- 旧研究開発項目⑦ : グラフェン基盤研究開発