

【課題名】交通低炭素化のための超高性能モータを実現するCNT電線の技術開発(補助)

【代表者】古河電気工業株式会社 橘正人

【実施予定年度】平成29～令和元年度

(1)課題概要

①【課題の概要・目的】

自動車分野において車両の軽量化は燃費に直結し、素材、構造両面から多岐に亘る軽量化開発が進められている。

従来、電線材料としては主に銅が使われてきたが、近年、ワイヤーハーネス(W/H)等でより軽量なアルミ電線への置き換えが進められている。本開発では、アルミに続く新たな超軽量電線素材として、優れた導電材料であるカーボンナノチューブ(CNT)を用いた新規電線を開発し、車載用モータ巻線に適用することで高機能モータを作製し、革新的な省エネ技術を確立することを目指す。

②【技術開発の内容】

○重要な開発要素

A1.【CNTの合成】

省エネ効果を発現するCNT電線を開発するために高導電性CNTの開発は必須の課題である。CNTの導電性はその層数や直径、長さなどの構造に大きく依存し、特にこれまでの知見から2層CNTが導電性に優れていることが示唆されている。

そこで本プロジェクトでは、産総研がコア技術を有するCNT量産技術であるeDIPS法(Chem. Mater. 22(2010)6035)をベースに、①導電性の高い(2層)CNTを構造制御して合成する技術の開発を進めるとともに、②電線化プロセス開発用試料の合成を行う。また上記開発に加えて、③生産プロセスの管理に資するCNTの導電性1次評価技術の開発、④導電性を向上させるCNTの構造パラメータ解明、⑤CNT合成と紡糸プロセスの摺合せ技術の開発も併せて行う。

A2.【CNTの紡糸】

CNTの長尺紡糸技術を開発する。乾式紡糸、湿式紡糸等の複数の紡糸法から、電気特性、機械強度などの点で巻線用途に適した紡糸法を選定する。最終的に、φ0.5mm以上のCNT線材を作製し、CNT電線の試作に供する。

A3.【CNTの電線化】

CNT線材を巻線として用いるためには、絶縁被覆や端末の電気接続が必須である。初めに、CNT線材に適用可能な絶縁被覆方法を開発し、巻線として必要な絶縁破壊電圧を達成する。続いて、小型移動体用モータに必要なφ0.5mm以上の線径に適合した被覆プロセスを開発する。

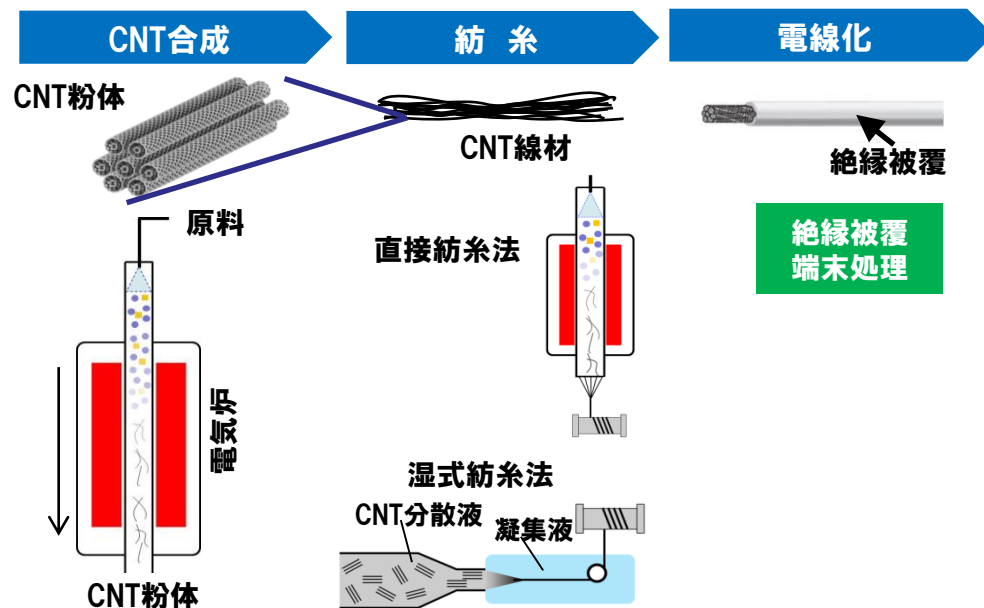
B. 開発要素のシステム統合と、C. その実証

CNTの合成、紡糸、電線化のプロセスを連結することでモータ用巻線を作製し、これを用いてモータ試作と特性評価を実施する。

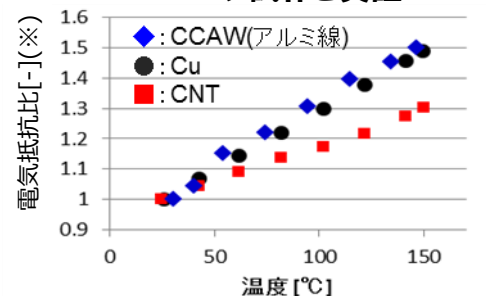
初めに小型モータにCNT巻線を適用し稼働確認を実施する。既存の銅巻線と特性の比較を行うことで、CNT巻線の課題を抽出する。

続いて、モータの出力向上の開発を行う。まず50Wレベルのモータ開発を行う。最終的に小型移動体のインホイールモータレベルの試作を行う。

③【システム構成】



モータ試作と実証



※室温の電気抵抗率を1とした時の相対値

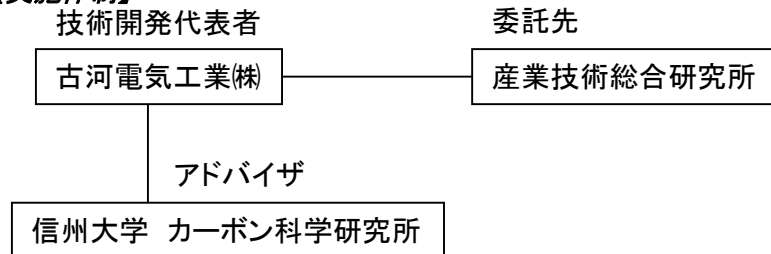
CNTは高温で抵抗上昇率が小さい →モータの高性能化

④【技術開発の目標・リスク】

- 想定ユーザ:カーメーカ(EV, HV用巻線)、利用価値:燃費向上
- 目標となる仕様及び性能:小型移動体のインホイールモータレベルでの稼働確認
- 開発工程のリスク:安全性の検証
- 対応策:早期の信頼性試験と規格化を進める

(2)実施計画等

①【実施体制】



古河電工(統括、紡糸・電線開発、モータ実証)

- ・CNT電線の研究開発を8年実施している。
- ・車載モータ用巻線の事業を実施している。

産総研(CNT合成開発)

- ・CNTの研究開発で15年以上の実績がある。

信州大(反応メカニズム解析、CNT物性評価などのアドバイザー)

- ・ナノカーボン素材の研究開発で20年以上の実績がある。

②【実施スケジュール】

	2017年度	2018年度	2019年度
A1. CNTの合成	製造条件検討(合成量20g)	2.3百万	(変更前)CNTを100g合成し、CNT電線化に提供する (変更後)合成速度を20%向上する
			20百万
A2. CNTの紡糸	湿式紡糸と乾式紡糸の比較	φ0.5mm以上のCNT線材の作製	太物のCNT線材で30m級の線材の作製 →2018年度に前倒しで目標達成
	40百万	40百万	20百万(モータ用紡糸試作)
A3. CNTの電線化	絶縁破壊電圧0.5kV以上	φ0.5mm以上のCNT電線の絶縁被覆で絶縁破壊電圧0.5kV以上	絶縁破壊電圧1kV以上 →2018年度に前倒しで目標達成
	33.7百万	33.7百万	20百万(モータ用電線化試作)
B. C. モータ試作及び実証	単位長さあたりの重量が銅巻線の1/3の巻線で、モータ稼働確認	50Wモータ試作	(変更前) 600W級のモータ試作 (変更後)100W級のインホイールモータ試作・評価
	4百万	4百万	20百万
合計(補助額)	80百万(40百万)	80百万(40百万)	80百万(40百万)

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	古河電気工業株式会社
--------------	------------

本事業によって高導電化と電線化の課題がクリアされれば、モータ巻線への実装が技術的に可能となる。本事業終了後は、CNT開発は古河電工が継続し量産化の目処を付ける。電線開発は古河電工の研究開発部門から古河電工グループの生産技術、事業部門を含めた体制へ移行し、事業化を行う。

○事業展開における普及の見込み

本事業で開発したモータ巻線用の被覆CNT電線はEVやHEVへの適用が期待される。製品化には車載用の各種規格をクリアすることが課題となる。古河電工は車載用巻線事業で、カーメカやモータメカへの販売チャネルを持っており、これらを通して供給する。

○年度別販売見込み

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

年度	2020	2025	2030	2035
目標単年度販売台数(台)	0	0	100,000	500,000
目標累積販売台数(台)	0	0	100,000	1,650,000
目標販売価格(円/台)			20,000	20,000

【現時点見込み】

現時点見込みの年次は固定

年度	2020	2022	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	0	0	100,000	6,240,000
目標累積販売台数(台)	0	0	100,000	34,861,330
目標販売価格(円/台)			40,000	20,000

○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・カーボンナノチューブの量産体制の構築とコストダウン
- ・安全性試験

(3)技術開発成果

①【これまでの成果】

- ・平成30年度までに構築した、CNT合成、CNT紡糸、CNT電線化技術を用いて100W級インホイールモータを試作し、負荷試験で140Wの出力を確認した。
- ・モータシミュレーションを実施し、CNT電線が銅並みの抵抗に下がった場合、150℃の稼働条件で、20%程度の省エネ化につながる事が示唆された。
- ・CNT合成技術について、メタン追加条件で、合成速度38%向上を確認した。

②【エネルギー起源CO2削減効果】

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品（装置/システム）1台当たりの単年度CO2削減量（t-CO2/台・年）	0.1112
開発品（装置/システム）の法定耐用年数	6 年

年度	2030	2031	2033	2035
単年度CO2削減量（万t-CO2/年）	1.112	1.668	3.336	5.560
累積CO2削減量（万t-CO2）	6.7	16.7	50	110
CO2削減コスト（円/t-CO2）	5,995,024	5,995,024	5,995,024	5,995,024

【現時点見込み】

開発品（装置/システム）1台当たりの単年度CO2削減量（t-CO2/台・年）	0.127
開発品（装置/システム）の法定耐用年数	6 年

年度	2020	2022	2030	2050
単年度CO2削減量（万t-CO2/年）	0	0	7.6	474
累積CO2削減量（万t-CO2）	0	0	7.6	2650
CO2削減コスト（円/t-CO2）			5,261,465	3,946,099

現時点見込みの年次は固定

③【成果発表状況】

・なし

④【技術開発終了後の事業展開】

本事業にて開発を行ったCNT電線は高付加価値用途向けのモータ巻線への適用を行う。まず、アルミ並抵抗値のCNT電線を医療用特殊モータ向けに適用した後、CNT電線製品としての製造・販売実績を踏まえて、銅並抵抗値のCNT電線を車載モータへと適用を行っていく。

○量産化・販売計画

- ・2025年までに、アルミ並CNT電線を医療用特殊モータ巻線に適用。
- ・2030年までに、銅並CNT電線を車載インホイールモータ向け巻線に適用。
- ・2035年までに、車載向けの拡大を図るとともに、電動航空機向けに適用。

○事業拡大シナリオ

年度	2020	2021	2022	2025	2030	2035
低抵抗化技術開発		アルミ並条件明確化	アルミ並サンプル	銅並サンプル		
CNT低コスト化技術開発				1百万円/kg	0.5百万円/kg	0.1百万円/kg
生産技術開発による製造能力向上			10kg/y	100kg/y	数10t/y	数100t/y
製品を導入する市場セグメント（要求抵抗値）				医療用特殊モータ（アルミ並）	車載駆動モータ（銅並）	車載駆動モータ電動航空機（銅以下）

○シナリオ実現上の課題

- ・低抵抗化に向けた合成、精製、紡糸工程でのAIプロセス技術開発、評価技術開発
- ・低コスト化のための各工程速度向上と最適化
- ・製造能力向上のための高速化と歩留まり向上
- ・各市場セグメントにおける当社グループ内・ユーザーと連携した製品設計・規格化・標準化、および、新規CNT材料の安全性評価

○参考資料1 CO2削減効果について

・CO2削減効果の計算方法について、端的に記載してください。

CO2削減量の試算に当たっては、地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策)策定マニュアル(※1)、地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック<補助事業申請用>(※2)等を参考にしてください。

※1: http://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/manual_main.pdf

※2: http://www.env.go.jp/earth/ondanka/biz_local/gbhojo.html

○2020年時点の削減効果

・上市前のため未記載

○2022年時点の削減効果

・上市前のため未記載

○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン B-b, II - i)

- ・潜在市場規模: 545万台(市場調査情報から)
- ・2030年度までに期待される最大普及量: 10万台(生産能力増強計画に基づく最大生産台数。なお、従来システムの販売台数は年間81万台)
- ・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO2削減量: 0.127t/年(従来型の同様システム: 0.634t/年)
- ・削減原単位: 商用電力 従来のエネルギー年間消費量1354kWh/年/台、開発品による削減率: 20%、排出係数: 0.468kgCO2/kWh、年間CO2削減量=127kgCO2/年/台
- ・累積CO2削減量: 7.6万t-CO2
- ・CO2削減コスト: 5,261,465円/t-CO2(EV販売価格400万円/台として計算)

○2050年時点の削減効果 (試算方法パターン B-b, II - i)

- ・潜在市場規模: 1560万台(市場調査情報から)
- ・2050年度までに期待される最大普及量: 624万台(生産能力増強計画に基づく最大生産台数)
- ・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO2削減量: 0.127t/年(従来型の同様システム: 0.634t/年)
- ・削減原単位: 商用電力 従来のエネルギー年間消費量1354kWh/年/台、開発品による削減率: 20%、排出係数: 0.468kgCO2/kWh、年間CO2削減量=127kgCO2/年/台
- ・累積CO2削減量: 2650万t-CO2
- ・CO2削減コスト: 3,946,099円/t-CO2(EV販売価格300万円/台として計算)

○参考資料2 事業化計画について

【技術開発終了後の事業展開】

本事業にて開発を行ったCNT電線は高付加価値用途向けのモータ巻線への適用を行う。まず、アルミ並抵抗値のCNT電線を医療用特殊モータ向けに適用した後、CNT電線製品としての製造・販売実績を踏まえて、銅並抵抗値のCNT電線を車載モータへと適用を行っていく。

○量産化・販売計画

- ・2025年までに、アルミ並抵抗値のCNT電線を医療用特殊モータ巻線に適用。
必要となる量産レベルは100kg/yとニッチ分野であり、同分野にてCNT電線の製造販売の実績を積み、安全性・品質・コストに向けた課題の抽出・解決を行う。
なお、要求される抵抗値はアルミ並であり、2022年度末までにアルミ並抵抗値のサンプルをユーザーと共有して連携を進める。
- ・2030年までに、銅並CNT電線を車載インホイールモータ向け巻線に適用。
車載用途は開発設計製造に時間を要するため、本事業終了後速やかにユーザーとの連携関係を構築していく。
要求される抵抗値は銅並であり、2025年末までに銅並抵抗値のサンプルをユーザーと共有して、本CNT電線を適用したモータ仕様、CNT電線仕様検討を行うとともに、規格化・標準化に向けた連携を進める。
- ・2035年までに、車載向けの拡大を図るとともに、電動航空機向けに適用。
電動航空機用途では、要求される抵抗値は銅以下と想定されており、更なる低抵抗化開発を進める。

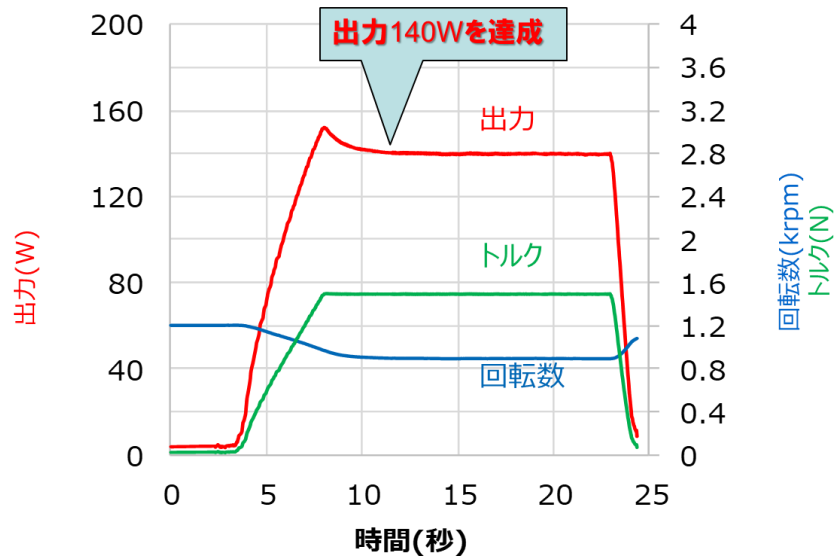
○事業拡大シナリオ

年度	2020	2021	2022	2025	2030	2035
低抵抗化技術開発		アルミ並条件明確化	アルミ並サンプル	銅並サンプル		
CNT低コスト化技術開発				1百万円/kg	0.5百万円/kg	0.1百万円/kg
生産技術開発による製造能力向上			約10kg/y	約100kg/y	数10t/y	数100t/y
製品を導入する市場セグメント（要求抵抗値）				医療用特殊モータ（アルミ並）	車載駆動モータ（銅並）	車載駆動モータ電動航空機（銅以下）

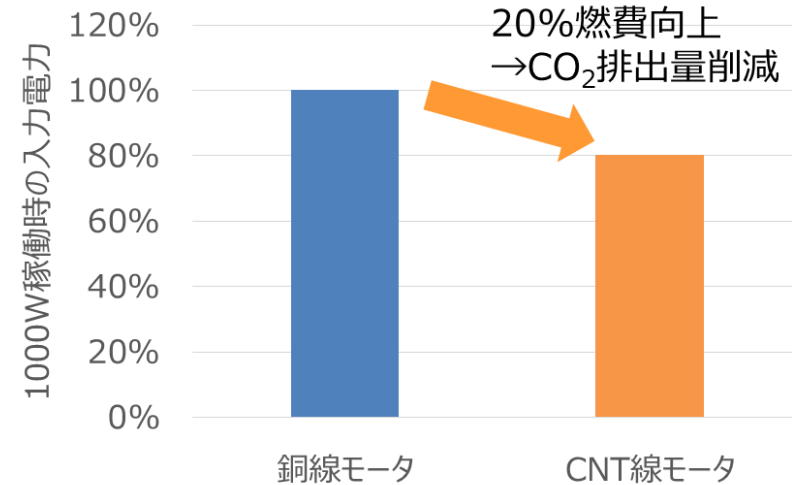
○シナリオ実現上の課題

- ・低抵抗化に向けた合成、精製、紡糸工程においては、AIの導入を含めたプロセス技術開発、および、CNT構造・特性の評価技術開発
- ・低コスト化のための各工程速度向上と最適化（不要工程の見極め）
- ・製造能力向上のための高速化（桁違いの高速化、および、並列化）と歩留まり向上
- ・各市場セグメントにおける当社グループ内（社内設備部門、事業部門、関連会社）・ユーザー（電装部品会社、自動車会社）と連携した製品設計・規格化・標準化、および、新規CNT材料の安全性評価（関連材料メーカーとの連携）

○参考資料3 その他



CNTモータ出力試験
負荷試験で140Wの出力を確認した。



モータシミュレーション結果
モータシミュレーションを実施し、CNT線の抵抗率が銅並み、抵抗の温度係数が銅の約60%の場合、銅線のモータに比べて20%程度の省エネ化につながることを示唆された。本結果は、CNT電線のモータを用いたEVは銅線のモータのEVに比べて、20%の電費向上、20%の航続距離延長につながることを示している。

CO₂排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

・ 評価点 6.1 点（10点満点中）

・ 評価コメント

【評価される点】

- 技術開発目標の内、CNT製造については、プロトタイプを製造する観点では成果が得られている。
- 広い用途で活用でき社会全体でのCO₂低減に寄与すると期待されるCNTを用いた銅線代替の新規電線を開発している。
- CNT合成、CNT紡糸、CNT電線化技術を開発し、目標として掲げた100W級のインホイールモータの試作、シミュレーションによる20%省エネ効果の実証、合成速度20%以上を達成しており、また自動車メーカーやモーターメーカーへの販売チャネルを活かした事業化に向けての取り組みを継続的に進めている。

【今後の課題】

- 当事業応募時の達成目標を最終年度に大幅に縮小したことは大きな懸念事項である。
- CNT及びCNT繊維の量産化に向けた更なる品質の安定化とコスト低減が望まれる。
- CNT技術の適用対象としたEVのインホイールモータ化は今後必ずしも順調に進むとは限らず、EVやPHVへの適用、およびスケール効果も含めて高出力モータや医療用特殊モータ向けなどへの適用も具体的に検討することが望まれる。
- CNTの銅線同等の低抵抗化や量産体制の構築、さらにはコスト低減について具体的なスケジュールを策定、その実現に向けた努力を続けるよう要望する。
- 開発成果の積極的な外部発表に努め、積極的な特許出願も望まれる。
- 新規性の高い素材であるため、普及拡大には実績と低コスト化が必須であり、十分なリソースを投入して早期に実用化されることを期待する。

【その他特記事項】

- 本技術の製品化には、多くの困難を伴うものと想定されるが、社会実装に向けた継続的な努力を期待する。