

平成30年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「スモールモビリティ、電動アシスト自転車用非接触給電技術の開発」

研究開発成果等報告書

令和元年5月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 国立大学法人埼玉大学

目 次

第1章 研究開発の概要	
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	4
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	
【1. 位置ずれ、給電距離の変動に対する安定動作への対応】	
【1-1】用途に最適なトランス形状の検討	7
【1-2】インバータ回路の自動周波数補正機能の開発	8
【1-3】中継コイルによる受電モジュールの位置変動に対する安定化機能の開発	9
【2. 給電対象物の認識技術の高度化の課題への対応】	
【2-1】通信方式による優位性の検討	10
【2-2】通信モジュールの試作評価	10
【3. 異物検出技術の高精度化の課題への対応】	
【3-1】送電コイルによる異物検出の確認、評価	11
【3-2】異物検出センサによる異物検出	12
【4. 機器への搭載を考慮した安全性の確保への対応】	
【4-1】シールド構造による漏洩電磁界対策	13
【5. 容易に使用できる非接触給電標準モジュールの製品化】	
【5-1】非接触給電モジュールの設計、試作、評価	14
最終章 全体総括	18

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

スモールモビリティや電動アシスト自転車は、近年の技術進化により便利な「移動手段」として活用されているが、バッテリーの充電は人による手作業であり、利便性・安全性の向上が見込める充電方法が求められている。この解決方法として非接触給電技術を用いた無人のバッテリー充電の研究開発が進められているが、現状では給電パットの取付け位置や給電距離等のユーザビリティやコスト面で市場にマッチしていないという課題が挙げられている。これらの課題を改善し、特にレンタル市場に非接触給電技術の市場普及を行うため、(株)ベルニクスと、埼玉大学の非接触給電技術を融合して製品実現に必要な技術開発を行う。

具体的には、電磁波環境的に安全で小型かつ、様々な形の電動アシスト自転車用レンタルシステムに対応する非接触給電パッドを開発するとともに、設計コストを抑えるために給電パッド間の空隙距離が変化しても高効率で給電可能な理論の解明を目指す。また、中継コイル付加による電源保護機能や通信機能を強化して、非接触充電の動作モードを把握したシステム回路設計法を確立する。

本研究開発は、中小企業の特定制品のづくり基盤技術の高度化に関する指針の下記課題・ニーズと高度化目標を実現していくものである。

(一) デザイン開発に係る技術に関する事項

1. デザイン開発に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

① 川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

製品・サービスのユーザビリティ

② 高度化目標

製品・サービスのユーザビリティ向上

○背景

電動アシスト自転車は、免許が無くても利用することが出来ることから近年急速に市場が拡大している。また、レンタサイクルにおいても電動アシスト自転車が活用されつつあるが、電動アシスト自転車の場合、充電を含めたメンテナンスの問題から人手がかかり、レンタサイクル業者の収益性が低い為、それほど普及しておらず、市等の公共サービスの一環として普及している程度である。電動アシスト自転車によるレンタサイクルの収益性の改善には無人化のシステムが必須であり、その為に、自動的に充電が出来る非接触充電が必要となる。

また、今後、Eバイクや、シニアカー、電動車いす、電動カートなど、小型の電動車両の市場が拡大すると予想されているが、特に老人や身体障害者が利用する車いすについては、本人が充電をすることが困難な場合が多く、彼らにとって、電動車いすの非接触充電は自立した生活の為に必須のものとなると考えられる。

(株)ベルニクスでは、電動アシスト自転車用の非接触充電モジュールの開発を2014年より開始し、2015年2月には武蔵浦和駅にて2台、2016年3月には武蔵浦和駅と南与野駅で24台の非接触充電対応電動アシスト自転車を使い社会実験を実施した。これにより、レンタサイクル事業において非接触充電は事業の採算性においても有用なことがわかった。

(株)ベルニクスが開発した現在の非接触給電システムは、送電電力50W未満で電動アシスト自転車のバッテリーを約4時間かけて満充電とし、位置ずれの許容精度については最大10mmである。取り付けについては、ハンドルのステム部分に側方で給電する位置にて非接触給電を行っている。

しかしながら、実使用において、送電トランスと受電トランスの位置精度を確保することが容易でない事、自転車や充電ポートのデザイン性の観点から、非接触給電モジュールと充電ポートの位置関

係をもっと自由に設計できるようにしてほしいという要求がある。その為には、非接触給電トランスの形状も給電位置に適した形状が必要であり、位置ずれ精度が確保できない場合でも確実に給電出来ることが必要である。また、レンタサイクル事業者や、自転車の機種特有の制約条件にも対応することが必要となる。

更に送電電力についても、急速充電や大容量のバッテリーを想定すると 500W クラスまでの給電が必要になると思われる。工場内で使用する AGV や FA 機器等に関してはすでに 50W 以上の非接触給電が使用されているが、より安全性を求められる一般ユーザーの使用する機器や電動車両等については、実用に至っていない。

これらを実現することによって、非接触給電モジュールは、電動アシスト自転車だけでなく、E バイクや、電動車いす、電動カート等各種のスマートモビリティに使用できるようになる。

以上の背景から、電動アシスト自転車を始め小型電動車両への非接触給電に利用できる非接触給電モジュールとその周辺技術の開発を実施することとした。

○従来技術での課題

電動アシスト自転車や、E バイク、電動車いす等、電動の小型車両において、これらを使用するにあたりバッテリーへの充電が必要である。充電の方法としては、バッテリーを本体から取り外して充電器にセットする方法と、充電用の AC コンセントを接続する方法のどちらかが一般的である。

しかしながらこの充電は、人による作業が必要で、これらの電動車両の使い勝手を悪くしている。特に、レンタサイクルの普及においては、人による管理が必要となり無人化が困難でレンタサイクル事業の採算性を低下させ、あまり普及していないのが現状である。

従来技術



バッテリーを取り外し、専用充電器で充電。もしくは AC ケーブルを車体に直接接続して、充電。

図1 従来のレンタサイクル 一般的な例



新技術



貸し出しシステムに登録し自転車を取り出せばそのまま使用可能。返却もポートに返却するのみ。

図2 ワイヤレス給電によるレンタサイクル(武蔵浦和駅「さいチャリ」 実証試験) の例

課題	特徴
- 充電作業に手間がかかる - レンタサイクル事業などの無人化、自動充電に向かない（人件費がかかる為採算性が合わない） - 雨の日等、濡れた場合感電の危険がある	- 所定の位置にセットすることで自動充電が可能 - レンタサイクル事業などの無人化が可能 - 雨の日、濡れた状態でも電極の露出が無く安全に充電可能

川下製造業者は、今後成長が期待される電動アシスト自転車等において容易に充電が可能な非接触充電対応自転車の開発を検討している。また、レンタサイクルや、シェアサイクル等の駐輪システム業者においても、電動アシスト自転車を使用して自動充電に対応したシステムの要求があり、低コストで以下のとおり使い勝手がよく、自動充電に対応できる非接触給電モジュールが求められている。

- A) 機器への組込設計に制約条件が少なく自由度がある事（側面取り付け、前面取り付け等）
- B) 小型で組み込む対象製品の審美性を損なわない事
- C) 送受電部の寸法精度、嵌合精度を許容できる事（位置ずれに強い）
- D) 安全である事（異物検知、保護回路、漏洩電磁界等）

（株）ベルニクスが開発した非接触給電モジュールを搭載した「さいチャリ」においても以下のような課題がある事がわかっている。

・位置ずれに対する許容度の不足

自転車は駐輪ポートの施錠部で、機構的にロックされることで、非接触給電の送電部と受電部の位置合わせを行っているものの、構造設計上の問題から施錠ロック部受電部とは、5～10cm 程度の距離があり、自転車タイヤの接地面の位置や、接地面の台部の傾きや駐輪ポートの傾き、自転車のフレームの精度等によって、送受電トランス間ギャップが変化する。現在の非接触給電モジュールの送受電トランス間ギャップ長の仕様は 10mm である為、これらの施工精度が必要で、かつ、ロック機構部での位置決め精度を確保する為、機構的な遊びを少なくする必要がある、施錠時の操作性が悪くなる。以上の理由で、非接触給電モジュールとしての使い勝手としては良いとは言えない。

・充電時間が長いこと

電動アシスト自転車の充電は、他社においても一般的に 3～5 時間の充電時間がかかる。しかしながらレンタルサイクル等で使用する場合には、短時間での充電の要求がある。

・漏洩磁界対策

短時間充電を実現する為には、充電電流を増やすことになるが、その為には、非接触給電の電力も大きくする必要がある。現在、50W で 3～4 時間で 80%の充電を行っているが、1 時間で充電する為には約 200W の電力が必要になる。非接触給電電力を大きくすると漏洩磁界も比例して大きくなるので、人体に対して影響のない範囲に抑える必要がある。

（50W クラスの（株）ベルニクス製非接触給電モジュールの現状と開発予定技術の比較）

	従来技術	新技術
位置ずれ対策 （機器設計時の位置合わせに対する許容量の拡大）	10mm の位置ずれは許容できるが、位置ずれが大きくなると送電インバータ部の損失増加の為送電停止。	インバータ部の共振を自動調整することで 20mm の位置ずれに対しても安定した非接触供給を行う。
受電モジュール認識 （受電モジュール認識の為の機構設計の軽減及び機構設計自由度拡大）	機構構造的に受電モジュールを認識。	機構構造的なものとは別に通信により受電モジュールを認識。
異物対策 （異物侵入防止の為の機構設計の軽減）	異物が入らないような構造検討にて対処。 明らかな異物については受電側インピーダンスを検知することで送電停止を行う。	高感度の検知コイルを設けることで、送電に影響を与える異物を検知し、送電停止を行う。
漏洩電磁界対策 （安全対策に対する機構設計の軽減）	非接触給電部から数 cm 離れたところの漏洩磁界は $27 \mu\text{T}$ 以下となる。	人が触れることが出来る部分の漏洩磁界を $27 \mu\text{T}$ 以下とする。

新技術開発における技術課題は以下のとおり。

【1. 位置ずれ、給電距離の変動に対する安定動作の課題】

【1-1】用途に最適な形状のトランス開発

【1-2】位置ずれに伴うトランスのパラメータの変化を補正する為の自動周波数補正機能の開発

【1-3】中継コイルによる受電モジュールの位置変動に対する安定化機能の開発

【2. 給電対象物の認識技術の高度化の課題】

【2-1】通信方式による優位性の検討課題

【2-2】通信モジュールの試作評価

【3. 異物検出技術の高精度化の課題】

【3-1】送電コイルによる異物検出の確認、評価

【3-2】異物検出センサによる異物検出

【4. 機器への搭載を考慮した安全性の確保の課題】

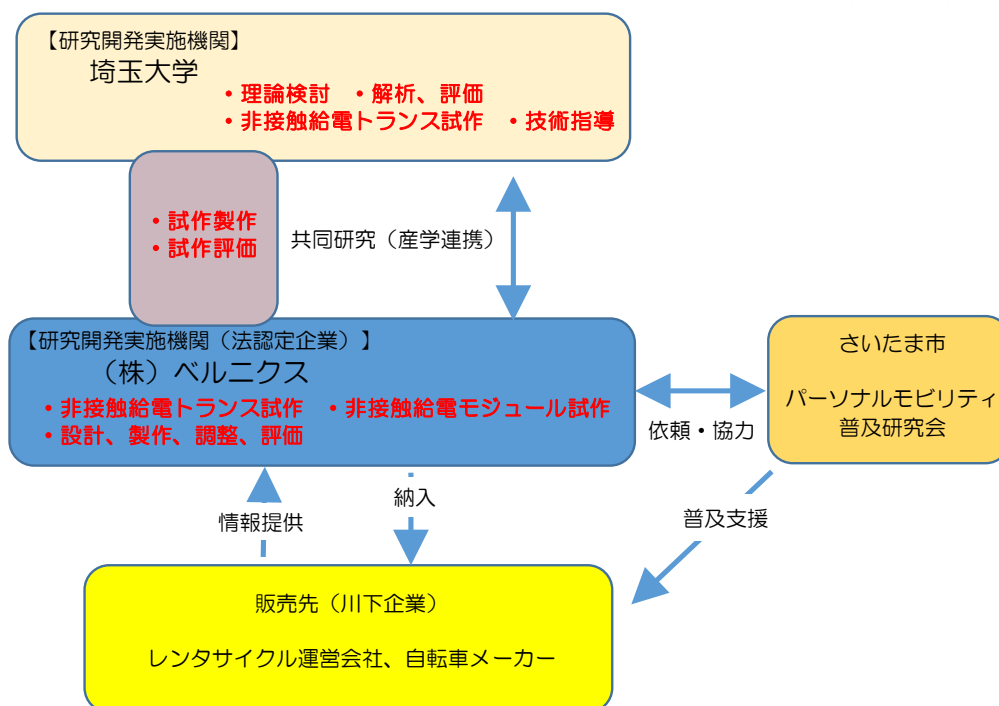
【4-1】シールド構造による漏洩電磁界対策

【5. 容易に使用できる非接触給電標準モジュールの製品化の課題】

【5-1】非接触給電モジュールの設計、試作、評価

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)



(研究者氏名)

氏名	所属・役職	実施項目
大森 浩史 (PL)	新規事業開発部 次長	テーマ全体
金子 裕良 (SL)	埼玉大学大学院理工学研究科 数理電子情報部門 教授	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【4-1】 【5-1】
田崎 正嗣	新規事業開発部 技師長	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【2-1】 【2-2】 【3-1】 【3-2】 【4-1】 【4-2】 【5-1】
岡部 耕平	新規事業開発部 係長	
石崎 秀二	新規事業開発部 副係長	
鈴木 修吾	新規事業開発部 主任	
澤田 成昭	新規事業開発部 主任	
満留 健星	新規事業開発部	
藤田 祐輔	新規事業開発部	

(アドバイザー)

氏名	所属・役職	具体的な協力内容
上田 晋太郎 氏	日本コンピュータ・ダイナミクス株式会社 取締役	駐輪ポートにおける電動アシスト自転車への非接触給電に関する要望及び市場動向等のアドバイスを頂く。
青山 栄進 氏	株式会社アイジュ 本社営業部 部長	電動アシスト自転車の非接触給電についての要望及び市場動向等のアドバイスを頂く。

1-3 成果概要

本年度の補助事業を実施した結果、次の効果を得ることができた。

【1. 位置ずれ、給電距離の変動に対する安定動作への対応】

高効率・高力率を達成する技術を確立した。

ギャップ変動（10～20mm）において、効率低下 10%未満を達成。

【2. 給電対象物の認識技術の高度化の課題への対応】

汎用 RFID を使用することで、導入コストを抑え、誤認識しない構成を採用した。

【3. 異物検出技術の高精度化の課題への対応】

送電コイルに、異物検出用のサーチコイルを用いる技術を確立した。

【4. 機器への搭載を考慮した安全性の確保への対応】

アルミシールドを用い、漏洩磁界の規格を満たす筐体のデータを取得した。

【5. 容易に使用できる非接触給電標準モジュールの製品化】

試作、量産試作を製作し、課題の割り出しを実施した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社ベルニクス 新規事業開発部 次長 大森 浩史

Tel：048-864-7815 Fax：048-861-6402

E-mail：ohmori@bellnix.co.jp

第2章 本論

【1. 位置ずれ、給電距離の変動に対する安定動作への対応】

【1-1】用途に最適なトランス形状の検討

使用用途、取り付け部位、位置あわせ方法等に適した非接触トランスの形状を検討する。

a) 移動体の進行方向側面での給電に適した非接触トランス形状

50W 給電において、ギャップ長が 0~20mm、進行方向±5mm、上下方向が±2.5mm で使用可能な平型非接触給電トランス。目標値は、ギャップ長が 10mm~20mm に変化した時のトランス間の効率の低下が 10%以下。

b) 移動体の前面、又は後面での給電に適した非接触トランス形状

50W 給電において、ギャップ長が 0~20mm、左右方向±5mm、上下方向が±5mm で使用可能なコの字型非接触給電トランス。目標値は、ギャップ長が 10mm~20mm に変化した時のトランス間の効率の低下が 10%以下。

c) 薄さが必要な場合の最適な非接触トランス形状

薄さ 10mm 以下の 50W 円形非接触給電トランスにおいて、ギャップ長が 0~20mm、左右方向±5mm、上下方向が±5mm で使用可能な円型非接触給電トランス。目標値は、ギャップ長が 10mm~20mm に変化した時のトランス間の効率の低下が 10%以下。また、無線周波妨害波特性 (CISPR11) など、変動時の安定動作に留意したトランス形状であること。

- 磁界解析シミュレーションにより、平型トランス、コの字トランス、円形トランスの位置ずれ及び給電距離の変動に対する特性を比較し、使用用途に応じた基本設計を行った。
- 上記の比較結果に基づき原型トランスを作成し、給電効率の評価を行い、目標値を達成した。また、給電効率と無線周波妨害波特性の同時精密測定が可能なシステムを構築するため、スペクトラムアナライザーと放射ノイズ自動測定ソフトウェアを導入し、無線周波妨害波特性の性能評価を行った。
- 原型トランスの性能評価の結果に基づき、試作トランスの基本設計を行うとともに、試作トランスやシールドケース等の関連部品の製作のため、3D プリンタや NC 加工機等の部品製作用機器を導入し、製作・調整を行った。
- 試作トランスの各波形の動作タイミング、位相等の動作解析を行いながら、試作トランスの製作・調整を実施した。試作トランス等の動作状況の詳細な解析方法を構築するため、小型 SiC インバータユニット、デジタルオシロスコープ、DC 電源、磁界測定器などの解析用機器を導入した。
- 平型、コの字、円型トランスの寸法と給電距離と効率の関係について理論的解析を行った。
- 各トランス形状に対する目標到達寸法を電磁界シミュレーションで検討した。
- シミュレーションを基に製作した試作トランスにて通電評価を実施した結果、平型、円形、コの字の 3 形状にてギャップ変動に対する効率低下が目標値である 10%以下となった。

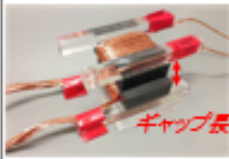
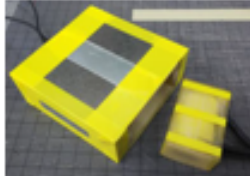
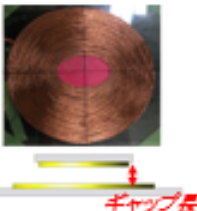
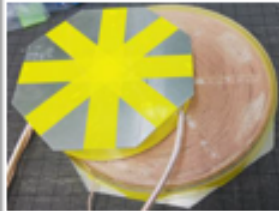
	原型トランス	特徴	試作トランス	評価性能
平型		【特徴】 小型化可能 位置ずれ性能:良好 【用針】 ギャップ長が短ければ万能 取付面積が小さいとき有効		【Gap10->20mm 時の効率低下】 9.1% (<10%) ○
コの字		【特徴】 比較的小型化が可能 距離・位置ずれ性能:良好 【用針】 差込み方向は限られるが、 大きなギャップ長でも有効		0.2% (<10%) ○
円型		【特徴】 薄型化可能 漏洩電磁界:比較的小さい 【用針】 大きな取付面積が必要だが 車体底部の設置は有効		4.1% (<10%) ○

図3 試作したトランスの種類と特徴、評価性能

【1-2】インバータ回路の自動周波数補正機能の開発

非接触給電の送受電トランスの距離や位置が変わるとトランスのインダクタンス、結合係数が変化し、電氣的パラメータの変化により、インバータの動作も変化し、過大な無効電流が流れる等、好ましくない動作になる恐れがある。このような場合、保護回路によりインバータの動作を停止させる等の方法を取るようになるが、送受電トランスのパラメータの変化をインバータ周波数の自動補正をすることで、位置ずれ、給電距離の変動に強い非接触給電装置を実現する。

送電インバータの出力周波数を非接触給電トランスに適した周波数に自動調整することで、送受電トランス間ギャップ長 0mm から 20mm において力率 80%以上とすることを目標とする。

- トランスの距離の変化に伴う力率変化の解析や、可変領域を設定するために必要なインバータ周波数の測定を行うとともに、試作トランスの特性評価により効果を確認した。
- 自動補正機能付きインバータについて、スコープコーダ等を用いて周波数調整における過渡的現象を計測したほか、機能を実現するための回路方式を検討し、基板製作を完了した。
- 上記の設計・試作に並行して、各種設計や実験データに関しての理論的な妥当性について検証し、力率が 0.8 以上である事を確認した。

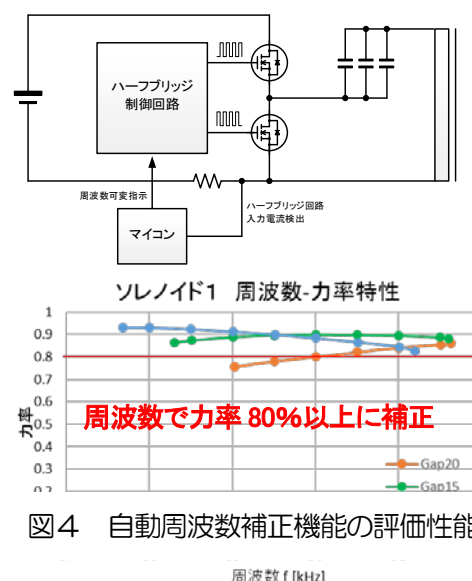


図4 自動周波数補正機能の評価性能

【1-3】中継コイルによる受電モジュールの位置変動に対する安定化機能の開発

S-P方式の非接触給電において、受電モジュールが存在しない場合、送電インバータ回路には過大な無効電流が流れることが知られている。これを解決する手段としてダミーの受電モジュールとしての役割を果たす中継コイルを予め送電トランス側に設けることで安定動作を実現する。

受電コイルの位置、有無にかかわらず、送電インバータは安定動作が可能なること。中継コイルの実装による送電トランスの体積増加分が50%以内で実現することを目標とする。

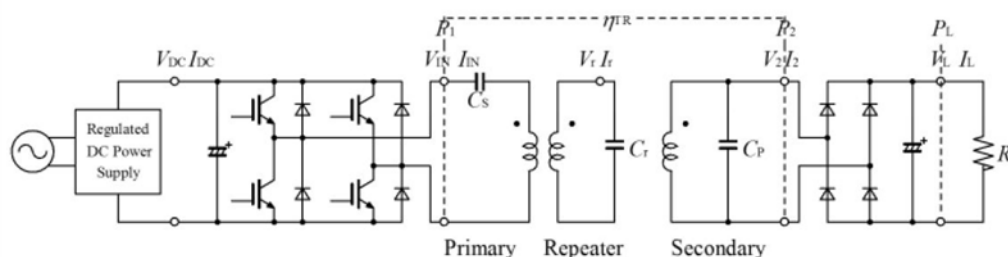


図5 中継コイルを用いた非接触給電回路

- 理論解析と電磁界シミュレーションを行い、中継コイルの有効性を確認した。
- 平型、コの字、円型トランスについて、原型コイルを作成し、性能評価を行った。
- 原型コイルの評価結果に基づき、中継コイルを組み込んだ試作トランスの設計・製作・調整を行った。磁界測定器を用いて中継コイルによる効果を確認するなど、各種の解析用機器を用いて評価を行い、有効性及び体積増加50%以下を確認した。

	原型トランス	評価性能
平型		【送電トランスの体積増加分】 37.8% (<50%) ○
コの字		34.6% (<50%) ○
円型		46.2% (<50%) ○

図6 中継コイル付きトランスの評価性能

【2. 給電対象物の認識技術の高度化の課題への対応】

【2-1】通信方式による優位性の検討

送受電モジュール間で通信を行うことで、受電モジュールを認識する事に対し、各種通信方式（Wi-Fi 方式、Bluetooth 方式、RF-ID 方式等）を検討し、最適な通信方式を選定する。

- 通信モジュール評価用ボードや各種の解析用機器を用いて通信方式を評価した。Wi-Fi 方式、Bluetooth 方式、RF-ID 方式に絞り、各無線通信方式の優位性を調査し検討した結果、非接触給電の送受電間通信に適した方式として、小型サイズ、低消費電力をメリットとした RFID 方式を選定した。
- 各無線通信の評価 Module を入手し、動作検証を実施した。

表 1 通信方式の種類と選定結果

通信規格名	普及率	導入コスト	サイズ	消費電力
Bluetooth	○	△	○	○
RFID	○	○	○	○
Wi-Fi	○	×	○	×
ZigBee	×	△	○	○
DECT	×	×	○	○

【2-2】通信モジュールの試作評価

通信方式の候補のうち、【2-1】の検討により最も適していると思われるもの 1 方式と送電電力に重畳する方式、合計 2 つの方式についての試作、評価を実施する。非接触給電動作時においても正常に通信できる事及び、複数組の同機種の非接触給電装置が動作する中で誤認識が発生しない事を目標とする。

- RFID 方式について、非接触給電中のトランスの直近でも通信可能であることを確認した。
- 周波数可変インバータの評価時の無線通信モジュールを利用し、製品上の問題がないことを確認した。
- 最短でアルミケースから 20mm の距離で誤動作なく信号通信可能なことを確認した。
- 製品同士を RFID の通信距離の数 cm の範囲で並べることがないため、複数組の給電時にも誤認識は発生しないことを確認した。



図7 非接触給電動作時の試作評価

【3. 異物検出技術の高精度化の課題への対応】

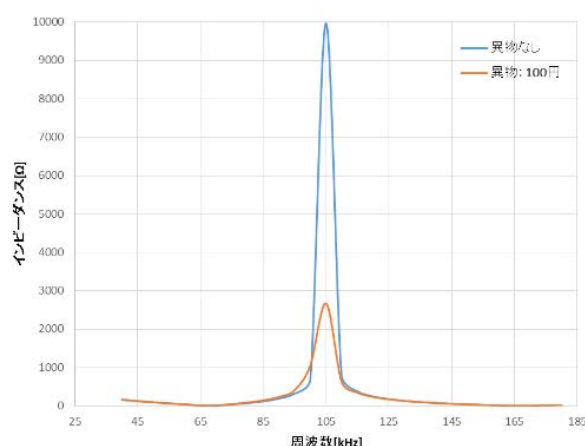
【3-1】送電コイルによる異物検出の確認、評価

専用の異物検出センサを設けない状態で、送電トランスの電圧電流から異物の存在をどこまで判定できるか確認する。異物の判断材料の例として、受電モジュールの消費電力値を受電モジュールより受け取り、送電電力と比較して異物の存在を判定する。

送電トランスと受電トランスがほぼ密着構造、或は、異物の侵入を防止する構造においては、送電コイルを使用した異物検出のみで実使用上問題が無いレベルを実現する。

目標は、このような構造において侵入した異物により、非接触給電トランスが異常発熱しない事とする。具体的にはトランス巻線温度が 120°C を超えない事为目标とする。

- 実験に使用するインバータを準備し、想定される異物を選定した上で、異物の有無による送電トランス電流の差異、インバータ入力電力の差異を各種の解析用機器を用いて測定した。
- 送電電力の差異、インバータの入力電力の差異を判別し、密着構造においては、送電トランス検出による保護停止若しくは、温度上昇によるトランスの破損がないレベルでの異物検出が可能であることを確認した。併せて、受電モジュールの消費電力情報を受け取ることで異物検知が可能かについても検討した。



共振時の入力インピーダンスが大きく変化するため、送電コイルに流れる電流をモニタすることで異物検出が可能。

図8 送電コイルによる異物検出

- 検出が困難な場合についても、磁路を遮らない部分の隙間をなくす構造の導入、【3-2】の異物検出回路と組み合わせて検出などで対応可能であることを確認した。
- 前項までの検討結果に基づいて異物検出回路を実装したインバータ回路を設計、試作した。各種の解析用機器を用いて異物検出回路を実装した非接触給電モジュールの異物検知性能の評価を実施した。

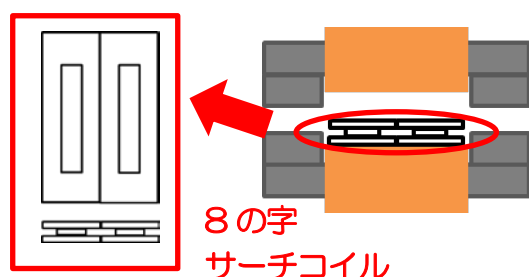
【3-2】異物検出センサによる異物検出

専用の異物検出回路を設けることにより、異物の存在を検出する。

異物検出用のコイルとコンデンサで共振回路を構成し、そこに交流電流を流すことで電圧が発生する。この電圧は共振回路の Q 値により大きく変動するが、近傍に金属が存在する場合 Q 値が低下する為、金属の存在を検出することが可能となる。

目標は、送受電トランス間が 10mm 以上離れた状態で、送受電トランス間に硬貨が存在する場合でも異物検知できる事とする。

- ・異物検出の手段について理論的な検証を行い、異物検出センサとしてサーチコイルと温度センサについて調査を実施した。
- ・異物検出回路を設計、試作し、スコープコーダや各種の解析用機器を用いて異物検出回路の評価を実施した結果、サーチコイルを用いることで、送受電トランス間の硬貨の検出を確認した。



8の字
サーチコイル

異物の大きさ・種類で共振周波数が変化する 8 の字サーチコイルを用いて異物検出。外部磁界がサーチコイルに誘起する電流を打ち消すため、給電中の誘起電流もなく、給電効率も低下しない。

給電前、給電中のサーチコイルや送電コイルの過電流検出に、フェイルセーフ機能として温度センサを加えることで、異物に対して信頼性のある保護機能を実現。

【100円硬貨の場合】

f [kHz]	Z (異物なし)	Z' (異物あり)	$\Delta Z(Z'/Z)$
305	0.496	4.96	10.0
310	0.451	4.46	9.89
315	0.928	3.96	4.27

【1円硬貨の場合】

f [kHz]	Z (異物なし)	Z' (異物あり)	$\Delta Z(Z'/Z)$
305	0.496	4.12	8.31
310	0.451	3.59	7.97
315	0.928	3.07	3.31

$\Delta Z \Rightarrow 500\text{円} > 10\text{円} > 5\text{円} > 100\text{円} > 50\text{円} > 1\text{円}$

図9 異物検出センサによる異物検出

【4. 機器への搭載を考慮した安全性の確保への対応】

【4-1】シールド構造による漏洩電磁界対策

漏洩電磁界対策としては、シールドが必須となるが、シールド構造の最適化により、小型で効果的なシールドが可能となる。それぞれのトランス形状に対して、適切なシールド構造を導き出す。

目標は、シールド構造が、外部から人の指が入る部分において $27\mu\text{T}$ を下回る事とする。なお、 $27\mu\text{T}$ は、ICNIRP による $3\text{KHz}\sim 100\text{KHz}$ における磁束密度についての公衆暴露の指針値である。

- 給電効率と無線周波妨害波特性の同時精密測定が可能なシステムを構築するため、スペクトラムアナライザーと放射ノイズ自動測定ソフトウェアを導入した。これを用いて既存の給電トランスの放射ノイズを測定し、磁界シミュレーション解析結果との整合性を確認し、漏洩電磁界対策に有効なシールド構造について磁界シミュレーションでの検討を開始した。

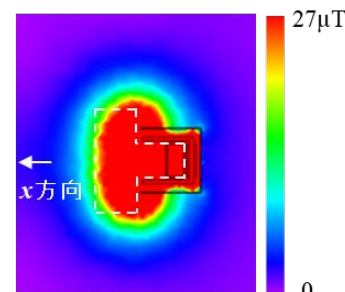
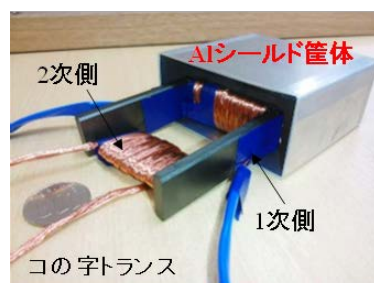
- 側面給電、前面又は後面給電、薄型トランスのそれぞれについて電磁界シミュレーション解析によりシールド構造を検討した。

- 前項に基づき、部品製作用機器を用いてシールドケースの設計、試作を行い、スコープコーダや各種の解析用機器を用いて試作したシールドケースの評価を行った。

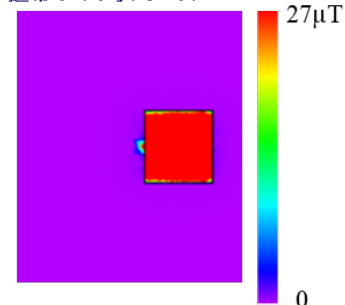
- 【1-1】や【1-3】で試作したトランスと上記シールドケースを組み合わせた非接触給電モジュールの漏洩磁界測定を行った。

- アルミシールドにより給電トランスを囲うことで、漏洩磁界が大幅に低減することを確認した。

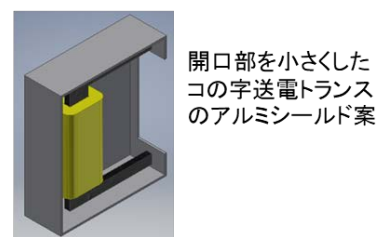
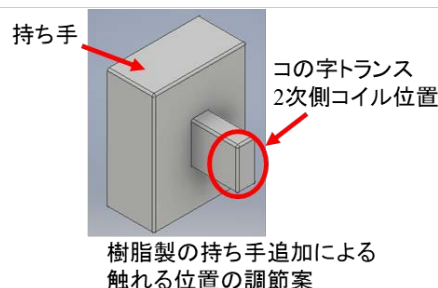
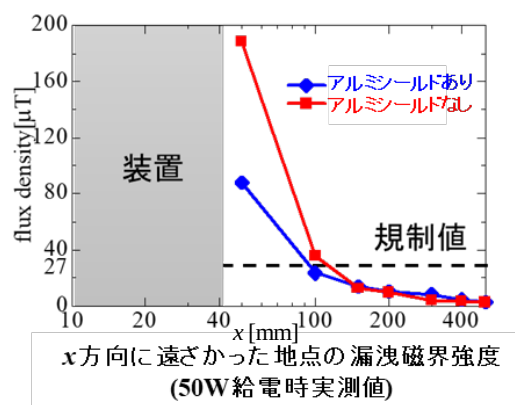
- 樹脂カバーで遮蔽シールドすることにより、人手が触れる場所が $27\mu\text{T}$ を下回ることを確認した。



漏洩磁界強度(JMAG計算値)
※通常のコ字トランス



漏洩磁界強度(JMAG計算値)
※差込パッドに蓋を付けて閉口した場合
(ケーブル用開口あり)



コ字トランスの例

図10 アルミシールド筐体による漏洩磁界対策

【5. 容易に使用できる非接触給電標準モジュールの製品化】

【5-1】非接触給電モジュールの設計、試作、評価

前項までのそれぞれの課題を解決して非接触給電モジュールの設計、試作、評価を行う。

目標は、以下を実現していること。

- a) 位置ずれ、給電距離にかかわらず送電インバータは安定に動作する事。
- b) 給電対象の受電部を認識し近傍に別の非接触給電装置が存在しても誤認識しない事。
- c) 実使用上想定できる異物に対して検知し送電インバータを制御できる事。
- d) シールドケースにより人の指が触れる部分の漏洩磁界は $27\mu\text{T}$ 以下とする。

- サブテーマ 1~4 の開発において、製品化する上で抽出した具体的な課題の整理を行った。
 - ー自動周波数補正機能を実装した高速制御性を考慮したインバータ基板の製作
 - ー中継コイルを実装した製品用トランスの製作。複数台駆動での特性解析と製品設計
 - ー製品として必要な通信量・品質を反映した RFID の組み込み
 - ーサーチコイルや温度センサを組み込んだ実用的なトランスの製作
 - ー製品化する上での規格を確定し、目標値を達成するシールド構造と形状に工夫が必要
 - ー防水防塵機能の評価
- 非接触給電モジュール及び送受電トランスの設計、試作、調整を行い、評価を行った。
- 評価結果について検討し、改善点の洗い出し及び対応を行い、最終試作にフィードバックさせた。
 - a) 位置ずれ、給電距離にかかわらず送電インバータは安定に動作する事。
 - ⇒破損・故障無しで安定動作することを確認。

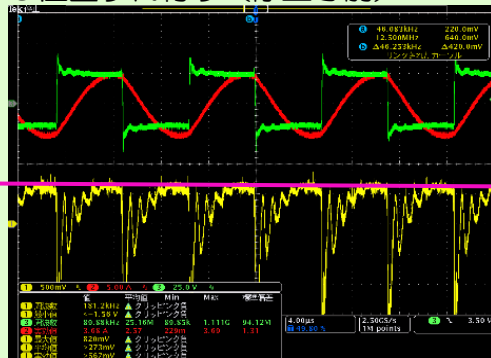
位置ずれ

※出力電力 40W 固定で位置ずれ動作

●位置ずれ無し（中心）



●位置ずれ有り（停止寸前）



停止
閾値

緑：インバータ出力電圧

位置ずれによって、電圧波形にスパイクおよびリングングが発生する（共振状態変化の為）。半導体素子の安全動作領域内での使用となる為、問題なしとする。

赤：インバータ出力電流

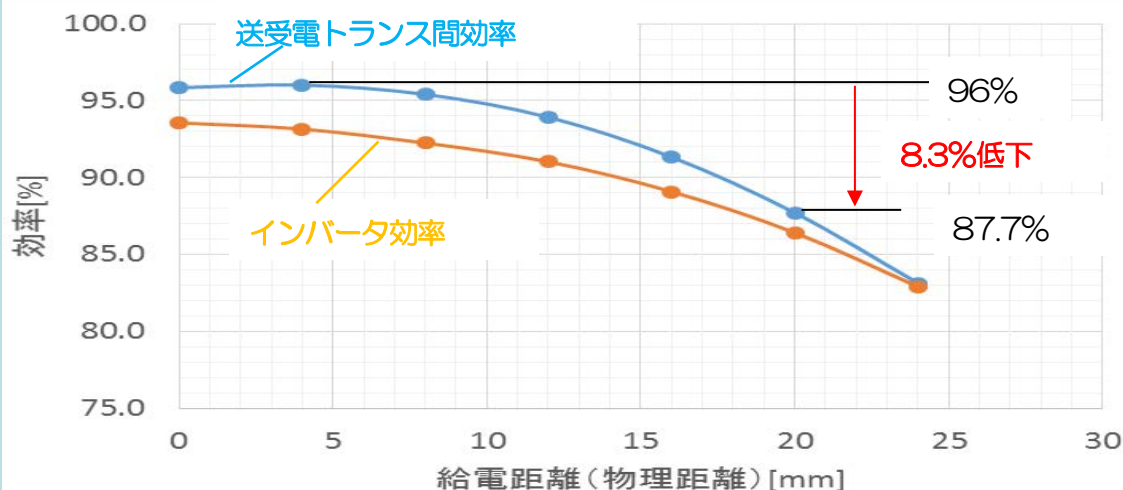
位置ずれによって、電流波形は振幅増加および位相が遅れる。給電距離の増加によっても同様の現象となるが、半導体素子の安全動作領域内での使用となる為、問題なしとする。

黄：インバータ入力電流検

位置ずれによって、読み値は増加する。閾値を超えることでインバータは、発熱及び故障なしに正常停止する。

図11 位置ずれにおける安定動作確認

給電距離



効率 - 給電距離（位置ずれ無しとする）

※送電トランス端で50W時の効率

給電距離0~20mmにおいて、送受電トランス間は

最大効率からの効率低下は**8.3%を達成**

※モジュール全体では80.5%~68.2%

図12 給電距離におけるトランス効率

b) 給電対象の受電部を認識し近傍に別の非接触給電装置が存在しても誤認識しない事。

⇒別の非接触給電装置に対して、誤認識しない事を確認。（【2】により確認済み）

c) 実使用上想定できる異物に対して検知し送電インバータを制御できる事。

⇒電流による保護機能と温度センサによる保護を採用。（【3】により確認済み）

d) シールドケースにより人の指が触れる部分の漏洩磁界は $27\mu\text{T}$ 以下とする。

⇒仕様の動作範囲内において、漏洩磁界を抑制することを確認。

定格入力電圧 DC24V、ギャップ 10mm および 20mm 時の送受電モジュール周辺の漏洩磁界強度を、磁束測定器で計測し、0W(出力開放状態) および 45W 時の、シールドケース周辺の漏洩電界の最大値はいずれも $27\mu\text{T}$ 以下であることを確認した。



表2 漏洩磁界測定結果

ギャップ／出力電力	0W (出力 Open)	45W
10mm	$3.77\mu\text{T}$	$3.30\mu\text{T}$
20mm	$8.33\mu\text{T}$	$7.88\mu\text{T}$

図13 試作モジュール漏洩磁界測定

製品仕様 (概要)

項目	仕様	備考
入力電圧	DC24V	-
給電距離	20mm	位置ずれ無し
送電電力	50W	-
出力電圧	28.7V 可変	バッテリー、その他
出力電力	40W	-

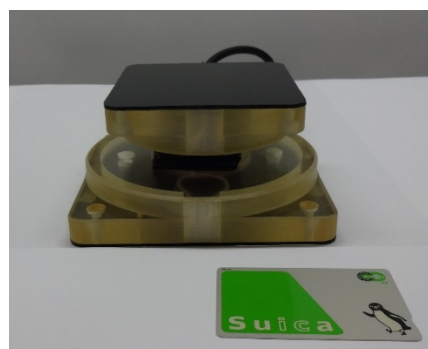


図14 試作モジュール外観

非接触給電標準モジュール (概要)

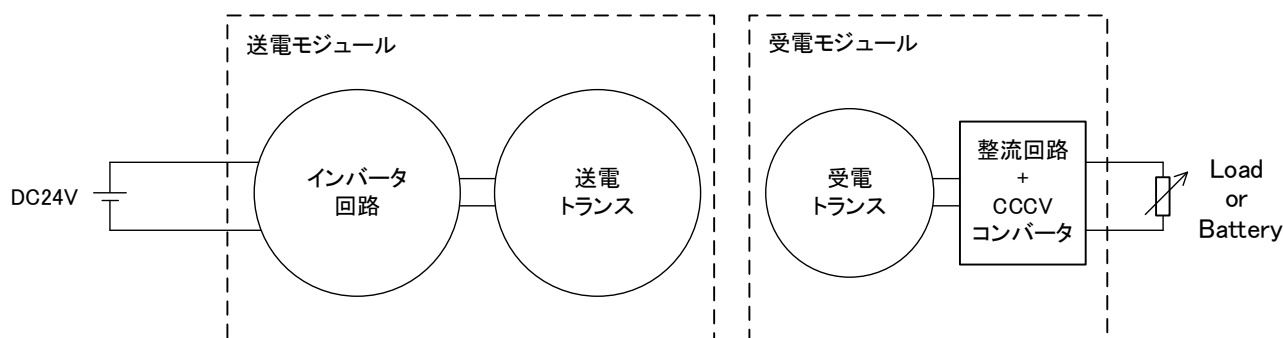


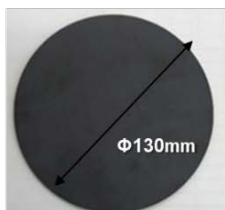
図15 試作モジュール概要

●送電モジュール

【インバータ】



【フェライトコア】



【コイル】



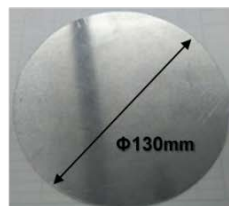
項目	仕様
入力電圧	24V
最大給電距離	20mm
送電電力(トランス端)	50W

・防水・防塵機能について
アルミ板以降の樹脂ケースにウレタン樹脂を充填することで防水・防塵を予定。

【樹脂ケース】



【アルミ板】



【樹脂蓋】



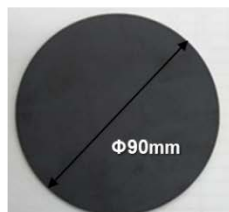
図16 試作モジュール（送電）

●受電モジュール

【整流+DCDC】



【フェライトコア】



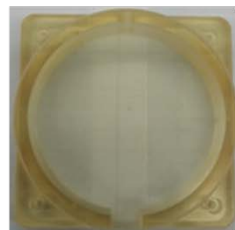
【コイル】



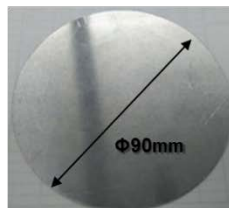
項目	仕様
2次電圧(トランス端)	20V～70V
出力電圧	用途により可変
出力電力	送電電力依存

・防水・防塵機能について
アルミ板以降の樹脂ケースにウレタン樹脂を充填することで防水・防塵を予定。

【樹脂ケース】



【アルミ板】



【樹脂蓋】



図17 試作モジュール（受電）

最終章 全体総括

【研究開発成果】

容易に使用できる非接触給電標準モジュールの製品化として、試作、量産試作を製作した。

初年度（平成 28 年度）には、シミュレーションを実施して、平型トランス、コの字トランス、円形トランスの特性比較を行い、使用用途に応じた基本設計を行った。比較結果に基づき原型トランスを作成し、給電効率の評価を行い、ギャップ 10mm～20mm において効率低下 10%未満を達成した。

また、各種特性の測定システムを構築するため、スペクトラムアナライザーと放射ノイズ自動測定ソフトウェアを導入した。さらに、原型トランスの性能評価の結果に基づき、試作トランスやシールドケース等の関連部品の製作のため、3D プリンタや NC 加工機等の部品製作用機器を導入した。

異物検出技術においては、シミュレーションにて共振時の入力インピーダンスが大きく変化することがわかり、入力電流による検出法を検討し、さらにサーチコイルによる異物検出を検討した。

給電対象物の認識技術の課題に対しては、RFID モジュールを選定した。

第二年度（平成 29 年度）には、初年度に導入した設備にて、試作トランスを各種製作した。シミュレーション内容との整合性を確認し、ギャップ 10mm～20mm において効率低下 10%未満であることや認識手法および異物の検出に問題がないことを確認した。

シールド構造による漏洩磁界対策は、素材としてアルミニウムで給電トランスを囲うことで漏洩磁界が大幅に低減できることを確認した。さらに、磁束密度が $27\mu\text{T}$ 以上の範囲に人体が侵入しないように外装を設けた。

最終年度（平成 30 年度）には、試作トランスにて課題を抽出した為、容易に使用できるモジュールの設計を実施した。円型トランスを選定し、試作および評価を実施した。

【研究開発後の課題】

本事業では、従来の給電方法を改善する開発を行ったが、今後、様々な市場への展開を検討するため、現状の 50W よりも大きい電力帯に向けた製品化を進める必要がある。

- ① 大電力化にあたって、トランスの発熱や漏洩磁界の増加が懸念事項となる。
放熱機構の検討や漏洩磁界を抑制する形状の検討を実施する。
- ② ソレノイドタイプやコの字タイプ、円形、それぞれの大電力版のトランス量産検討。
大電力化に向けては、形状が複雑になる。より量産に向けたトランス製法を模索する。

【事業化展開】

○現在の市場動向

本研究成果で拡大を狙っているモビリティ市場においては、自転車活用推進法が 2017 年 6 月に施行となった背景もあり、シェアサイクルビジネスが活況を帯びている。

ソフトバンクが運営するシェアサイクルでは、2018 年 11 月現在で、さいたま市だけで 190 ポート 500 台が運用されており、更にさいたま市との実証実験が 11/14 より開始され、順次拡大し、1000 台規模での設置が予定されているなど、電動アシスト自転車のシェアサイクル導入が着実に進んでいる。さいたま市のシェアサイクルだけでなく、下図の様に、各自治体のコミュニティサイクル導入も着実に増加しており、スマートモビリティ市場は、拡大傾向にあると判断できる。

本研究にて確立した技術を用いることで、自転車の別なく、充電が可能となり、シェアサイクルサービスだけでなく、一般自転車への対応により、家庭、一次駐輪場等への普及も考えられる。

○事業化計画

（１）シェアサイクルへの販売

現在、さいたま市で設置計画されているコミュニティサイクルに対して、2019年度内に500台をワイヤレス化予定（現行品）で進めている。また、川越市でのコミュニティサイクルへ200台程度の導入も決定している。

上記の様に、まず非接触給電による無人管理システムを浸透させることを優先させ、新技術を応用した製品は、2019年度以降に製品化を行い、非接触給電設備のメンテナンス時に、安価で運用しやすいシステムとして導入計画を提案する。導入後に契約更新の際、自転車やポートシステムの入替を想定している都市への提案を行っていく。

（２）電動２輪車への展開

電動２輪車への展開としては、送電電力を上昇させることで対応が可能と考えている。有線接続での充電電力を調査した所、約200W程度の給電ができれば、一晩での充電が可能と考える。

（３）標準品の開発（その他市場への展開）

本研究により確立した、トランス形状、長距離給電、通信技術等を用いた非接触給電モジュールを開発し、ラインナップ化することで、様々な組み合わせによる、顧客に合った製品提供が可能となる。

（４）特注品の受注

本研究により確立した、技術を用いて、非接触給電を必要とする各メーカーへ売込を行い、製品の開発委託や、共同研究などを行う。顧客要求では、バッテリー機器への充電に非接触給電を組み合わせる要求が多数有る。バッテリーメーカーとコラボレーションして、「非接触充電対応バッテリー」という形で、非接触だけでなく、システムとして販売していく。

その時に、必要なバッテリー容量や非接触給電方式、給電GAPが各社異なる為、前項の様な標準ラインナップを元にしたモディファイ特注とすることで、開発期間の短縮、開発コストの低減、複数社での使用実績による信頼性の向上等、顧客のメリットが大きくなり、受注の拡大、非接触給電の市場拡大に繋がる。

○スケジュール

実施項目	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
サンプルの出荷	←→				
顧客ニーズ集約	←→				
追加研究（課題内容による）	←→	→	→		
設備投資		←→			
製品等の生産		←→	←→	←→	←→
製品等の販売		←→	←→	←→	←→