

平成28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

「微小電力で駆動し、大掛かりな配線を必要としない新ロック機構を有する無磁型自己保持ソレノイドの開発」

研究開発成果等報告書

平成29年3月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 夕カハ機工株式会社

目次(例)

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）	3
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

2-1	概要	7
2-2	実施内容	7
2-2-1	コイル部の磁束密度強化	7
2-2-2	ロック機構の設計技術確立	8
2-2-3	ノックカム部を構成する材料選定	9
2-2-4	試作製作	9
2-2-5	試験・評価	12

最終章	全体総括	14
-----	------	----

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

●従来の課題（市場ニーズ）

防犯上の問題から、一般住宅、ビル、マンションやロッカーの鍵にはソレノイドやモーターを使用した電気錠が多く使われるようになり、その利便性から今後さらに市場が大きくなると予想される。しかしながら、現状の電気錠においては通電による施錠・開錠をすることから、その設置には大掛かりな配線工事や回路設計が必要である。

従来の電気錠用ソレノイドは施錠・開錠動作時に長時間通電か永久磁石で状態保持する構造となっており、電力を消費することと磁石を使った保持機構のため、電気配線が必要かつ構造が大きくなるという欠点がある。本研究開発はソレノイドでは過去にないロック機構を設けることにより瞬時通電、無磁石化を実現しこれらの欠点を解消する。電気錠においては配線の簡易化や無配線化、電気錠の小型化による意匠性の向上などの付加価値も高めることが期待できる。さらに、ソレノイドを応用したリレー装置についても接点スイッチを駆動する構造は上記の電気錠におけるシリンダ部分の駆動と構造的には同じであり、本研究で開発するソレノイドを利用すれば省電力で超小型のリレーも実現できる。新市場としてリレーにも応用したいと考えている。

従来技術		新技術		
製品	問題点	製品	用途	問題点を解決
一般の電気式ソレノイド	・常時通電のため、消費電力が大きい	ステップ1 ロック機構付ソレノイド	電気錠	・常時通電不要 ・永久磁石を不使用 →小型・軽量化
自己保持ソレノイド	・永久磁石を使用するため小型・軽量化できない。 ・可動部駆動回路が二つ必要	ステップ2 超小型化	リレー	・機械式機構が不要 ・超小型化が可能

●目的

電気錠などの開閉機構には、モーター又はソレノイドが利用されている。電気錠用ソレノイドは錠・開錠動作時に長時間通電か永久磁石で状態保持する構造となっており、電力を消費することと磁石を使った。保持機構のため、電気配線が必要かつ構造が大きくなるという欠点がある。

本研究開発は、川下企業の要請を受けて、ロック機構の設計とソレノイドの小型化を実現する無磁型自己保持ソレノイドの開発に取り組み、ソレノイドでは過去にないロック機構を設けることにより瞬時通電、無磁石化を実現する無磁型自己保持ソレノイドを開発する。

技術課題

- ①ソレノイド小型化のコイル構造と巻線技術
- ②ロック機構の構造開発
- ③材料選定と高精度な成形技術

高度化目標

- 小型化 従来品の 1/3
- 軽量化 従来品の 1/3
- 消費電力 99.9%削減

・高度化目標



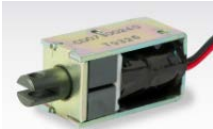
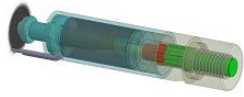
イ. 小型化・軽量化のための技術の向上

具体的な高度化目標

本研究開発では、自己保持のためには長時間通電もせず、永久磁石を使わず自己保持を可能としなければならない。しかし、従来型のソレノイドの構造ではそれは不可能である。

課題解決のためには、従来の構造に捉われない新規機構を開発する必要がある。川下企業の要求でリレーのコイルスイッチの代替が可能な小型・軽量化を図る技術を確立する必要があり、次のような目標値を設定した。この目標値は、川下企業における現状から算出したものであり、この目標を達成できれば、リレー、ソレノイド分野において十二分に競争力を確保でき、事業化が可能である。

【当初目標】

【小型化】	リレー外形寸法	(従来技術) 48×60×73	(新技術) 13×25×30
	一般的な リレー外観		参考リレー 外観図 
	ソレノイド外形寸法	16×16×40	φ8×30 ※開発品は筒型を設定
	タカハ製自己保持 ソレノイド外観図		開発品 外観図 
【軽量化】	リレー本体重量	255 g	85 g
	ソレノイド重量	35g	20g
【省エネ】	消費電力	常時通電	瞬間通電（ほぼゼロ）

【実施結果】

<B 社様向けリレー用ソレノイド>

<タカハ機工 標準仕様電気錠用ソレノイド>

リレー本体の小型化を実現した。

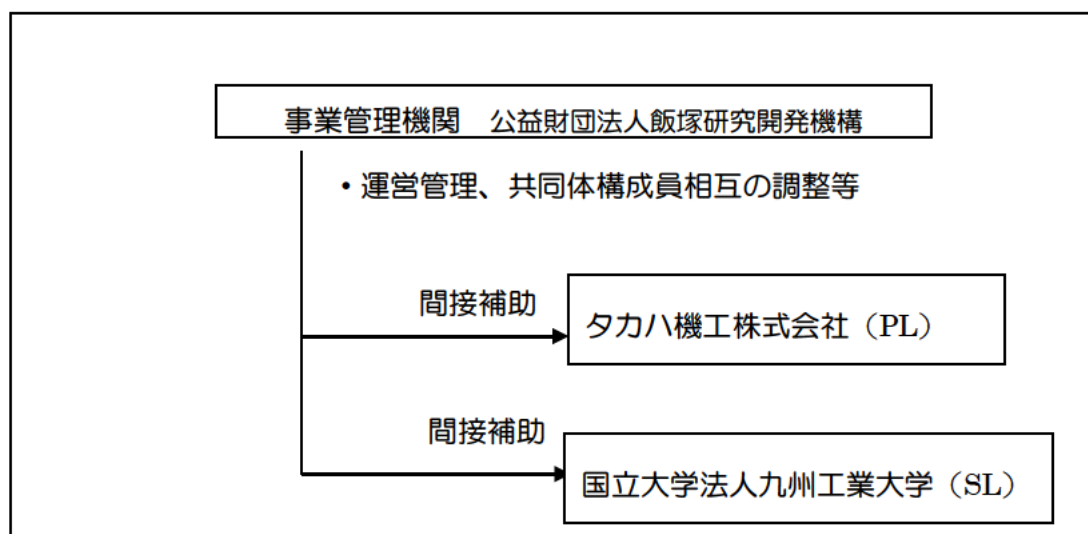


18×18×50mm

重量 62g

1-2 研究体制

(1) 履行体制図



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人 飯塚研究開発機構

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
白水 卓二	総務部・部長	6
武藤 修史	総務部総務課・課長	6
堀下 玲子	総務部総務課・事務主査	6
中村 裕章	研究開発部・部長	6
中島 健次	研究開発部事業課・課長	6
貝田 博英	研究開発部事業課・専門研究員	6
林 伊久	研究開発部事業課・専門研究員	6
仲 孝幸	テクニカルコーディネータ	6
川原 利三	研究開発部事業課・事業主任	6
菅原美世子	研究開発部事業課・嘱託員	6
村田 陽子	研究開発部事業課・嘱託員	6

【間接補助事業者】

研究員

タカハ機工株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
大久保 泰輔	代表取締役	5-2
大久保 千穂	取締役・財務部長	5-2
山田 龍一	技術部 部長・統括部長	1-1, 4-2, 5-1, 5-

屋方 陽一	技術部 技術課長	2
光原 裕幸	品質保証課長	2-1, 4-2, 5-1, 5-
竹下 登志洋	製造2課長	2
崎平 博文	切削部門 係長	4-1, 5-1
岩下 康治	成形係 係長	3-1
池田 禎彦	設計技術	4-1, 4-2
三ヶ尻 英明	設計技術	3-1, 4-2
田中 清海	生産技術	1-1, 1-2, 4-2
村上 耕一	生産技術	2-1, 4-2
豊広 功	研究員	4-1
茶園 千恵子	技術職員	4-1
山川 明恵	営業	1-1, 4-1
		5-2
		5-2

国立大学法人九州工業大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
伊藤 高廣	情報工学研究院 機械情報工学研究系 教授	1-2, 4-1 5-1, 5-2

(3) 経理担当者及び業務管理機関の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人 飯塚研究開発機構

(経理担当者) 総務部 総務課 課長 山崎 吉徳

(業務管理者) 研究開発部 部長 中村 裕章

(間接補助先)

タカハ機工株式会社

(経理担当者) 取締役 財務部長 大久保 千穂

(業務管理者) 技術部 部長・統括部長 山田 龍一

国立大学法人 九州工業大学

(経理担当者) 会計課 課長補佐 小川 英利

(業務管理者) 情報工学研究院長 梶原 誠司

1-3 成果概要

【1-1】 コイル部の磁束密度強化

巻線用のボビン（樹脂成形品）の肉厚を半分（0.5mm）にし、固定鉄心のテーパ角の変更、鉄心径を小さくし、銅線量を増加。可動鉄心もテーパ加工、鉄心長を長くし磁性体量を大きくした。磁場解析シミュレーションにより、電気錠用のコイルを初期サイズの6.5mmから5mmに小型化を実現。リレー用も同様にコイルの設計を完了した。

【1-2】 鉄心の形状及び巻線の磁場解析・選定

鉄心のパラメータ（抵抗値、電圧、線径、巻き数）をタイプ別に設定、磁場解析を実施した。目標値である、コイルサイズφ8×20mm、吸引力1.82N（電流値500mA～1A・ストローク動作距離2.6mm時）を達成した。

【2-1】 シミュレーション技術の高度化

ソレノイドとノック棒と分離し、カム径や構造も変更し、回転子の戻り量を少なくする等の構造を決定。電気錠用は戻り距離1.2mmで設計完了した。リレー用は川下企業のリレーの設計の変更により、ソレノイドの設計も変更を要求されるため、ここでは決まらなかった。

【3-1】 ノックカム部を構成する材料選定

金型部品の樹脂材料としてPOM（ポリアセタール）を選定し、耐久試験を実施した。電気錠用の耐久試験において目標値の2倍である60万回を達成した。また、105℃の耐熱性にも問題なかった。

【4-1】 機械加工による一次試作製作

ロック機構である樹脂製品の回転子、カムの溝数、溝角度を18通りの試作品を製作した。治具等を製作の上、組付け、特性の評価・検証を実施して溝数と角度の最適値を決定した。同時に川下企業の電気錠としても同サイズのもので検討することになり、弊社標準品と合わせ、川下企業の新製品としても同時に試作を進めることにした。

【4-2】 金型品による二次試作製作

電気錠用のロック機構（樹脂部品）金型、ソレノイド用ボビン（樹脂製品）金型、ソレノイド用プレス品金型を製作。ソレノイドとロック機構を組み付け、耐久試験等を実施した。試験の段階で動作不良の原因と思われる黒い削り粉が発生したため分析した結果、ガイド棒の剥がれが原因と分かり、部品間の隙間を拡大し解決。またEリング、バネ等も変更し、最終的に弊社標準品の電気錠用が完成した。

リレー用に関しては、ソレノイドのサイズ、大きさ共に当初の目標値は達成しなかったが、リレー本体の小型化を実現して川下企業の要求は満たしており、今後リレーの製品の設計に合わせソレノイドも対応していくことになっている。

【5-1】 研究開発品単体及び川下企業の製品用の試験・評価

電気錠用として、当社標準品で試験を実施し評価を行った。耐熱性、絶縁性、耐久性、吸引力の結果は全てクリアし、耐久性は目標値 30 万回に対し 60 万回を達成した。

また、川下企業の要求で振動試験を実施した。振動試験、及び耐久試験、先端荷重確認試験、温度上昇特性も問題なく、当社標準品を確立した。今後は量産化に取り組む。

リレー用については、仕様等ほぼ決まっているが、改良箇所が残っているため評価試験は未だ実施していない。

九州工業大学では、当該ソレノイドが発生させる磁界の周辺に及ぼす影響について調べるために磁場の測定を行った。その結果、問題ないことがわかった。

【5-2】 「機械要素技術展」にて新製品発表と市場調査

東京・名古屋・関西の「機械要素技術展」に開発中の新製品として展示して市場調査を実施した。本展示会は機械要素、加工技術を集めた日本最大の展示会であり、メーカーの設計・開発、製造・生産技術部門を中心とした製造業ユーザーが多数来場する。60 社以上の企業と面談し、量産確定後に連絡する企業も確定している。その使用用途はロック用、シャッター用ソレノイド、産業機械の自動レバー用など多岐にわたる。

大規模展示会に出展したことにより、貴重な意見や助言が得られ、事業化のための有益な情報が得られた。10 社程度が大変興味を示し、販売が始まったら連絡を取り、商談を進めることになっている。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人飯塚研究開発機構 研究開発部 貝田 博英

TEL:0948-21-1156 FAX:0948-21-2150

E-mail: kaida@cird.or.jp

第2章 本論

2-1 概要

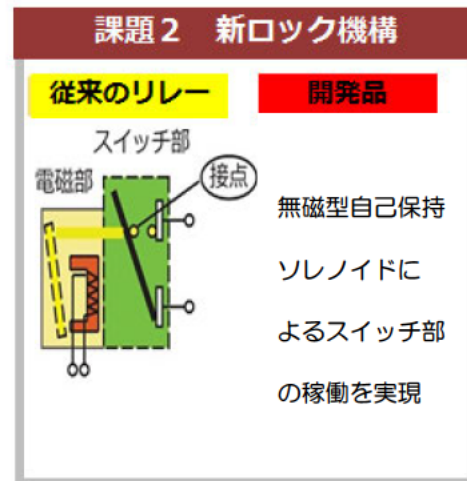
本事業は川下企業の要請を受けてロック機構の設計とソレノイドの小型化を実現する「無磁型自己保持ソレノイド」を開発する。従来のソレノイドは、自己保持するために常時通電するか永久磁石を使用するか2通りしかなかった。本製品は電流も磁石も使用しない業界初の機構で自己保持するソレノイドである。

技術課題

- ①リフト[※]小型化のコイル構造と巻線技術
- ②ロック機構の構造開発
- ③材料選定と高精度な成形技術

高度化目標

- 小型化 従来品の1/3
43 X 60 X 73 → 13 X 25 X 30
- 軽量化 従来品の1/3
255 g → 85 g
- 消費電力 99.9%削減

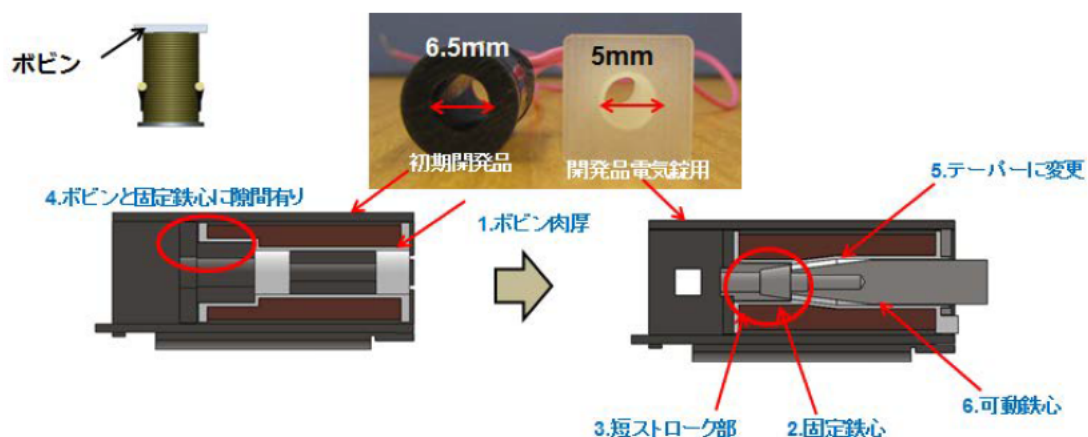


2-2 実施内容

2-2-1 コイル部の磁束密度強化

【1-1】コイル部の磁束密度強化

ソレノイドの吸引力はコイルの磁束で決まるため、小型で吸引力を出せる設計を検討。ボビンや鉄心等の設計条件を検討、磁場解析シミュレーションで初期サイズ（内径 6.5 mm）を 5 mm まで小型化した。リレーの目標値 3 mm の目途が立った。



【1-2】 鉄心の形状及び巻線の磁場解析・選定

鉄心のパラメータを数タイプ用意し磁場解析を実施、コイルサイズφ8×20 mmを決定した。



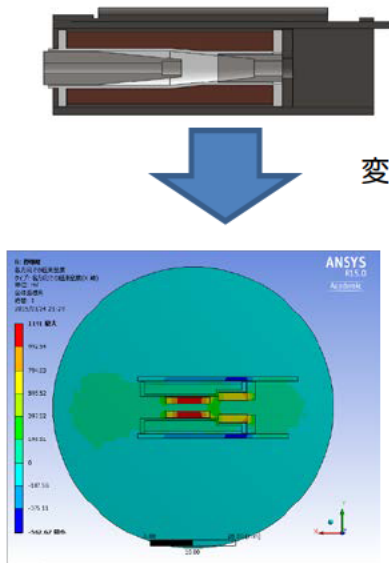
初期開発品コイル



開発品電気鍍用コイル

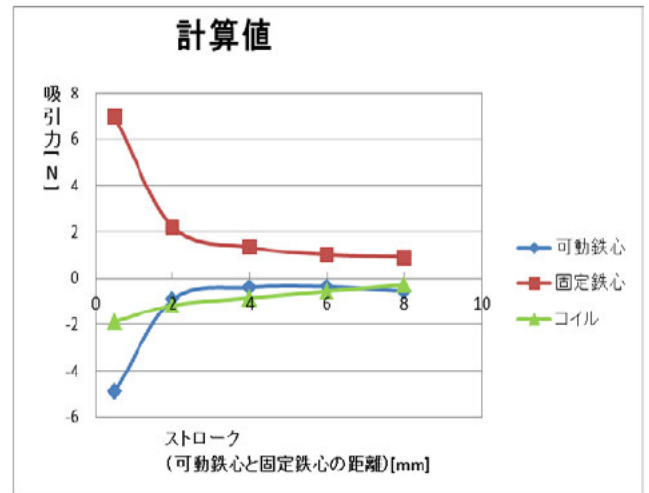
抵抗値	電圧	線径(mm)	巻き数(ターン)
5.15Ω	6	0.27	650
11.99Ω	12	0.22	1,000
13.4Ω	24	0.19	1,450

九州工業大学では解析ツールによりソレノイド解析モデル（CADデータ）を電磁解析モデル（ANSYSデータ）に変換し解析。タカハの解析結果とほぼ一致した。



変換

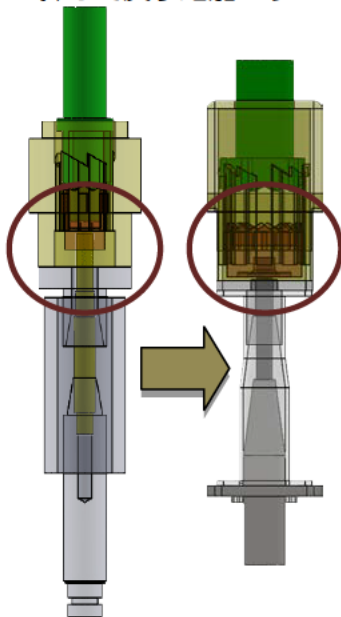
解析



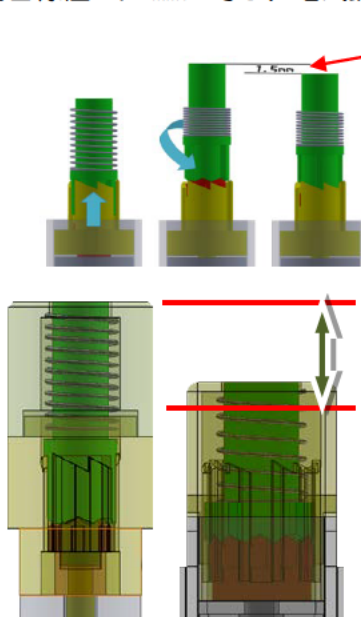
2-2-2 ロック機構の設計技術確立

【2-1】 シミュレーション技術の高度化

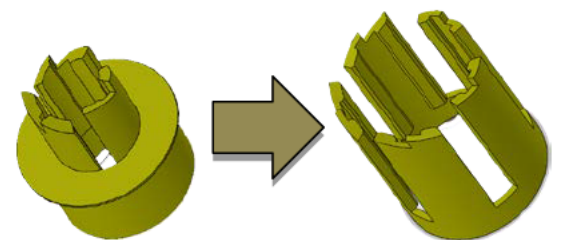
押して戻す距離：リレー用目標値 0.6 mmに対し、電気鍍用は 1.2 mmで設計完了した。



ソレノイドとノック棒を分離することで動作をスムーズにする



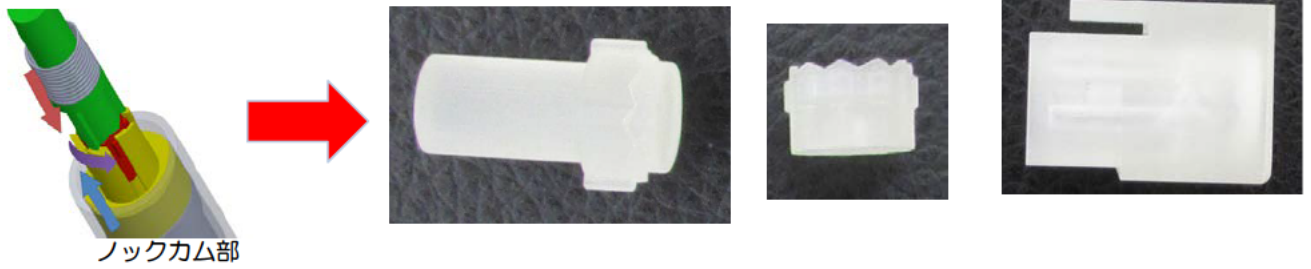
カム系を大きくすることで全長を短くする



カム構造を変更し回転子の「戻り」量を少なくする

2-2-3 ノックカム部を構成する材料選定

【3-1】 ノックカム部を構成する材料選定



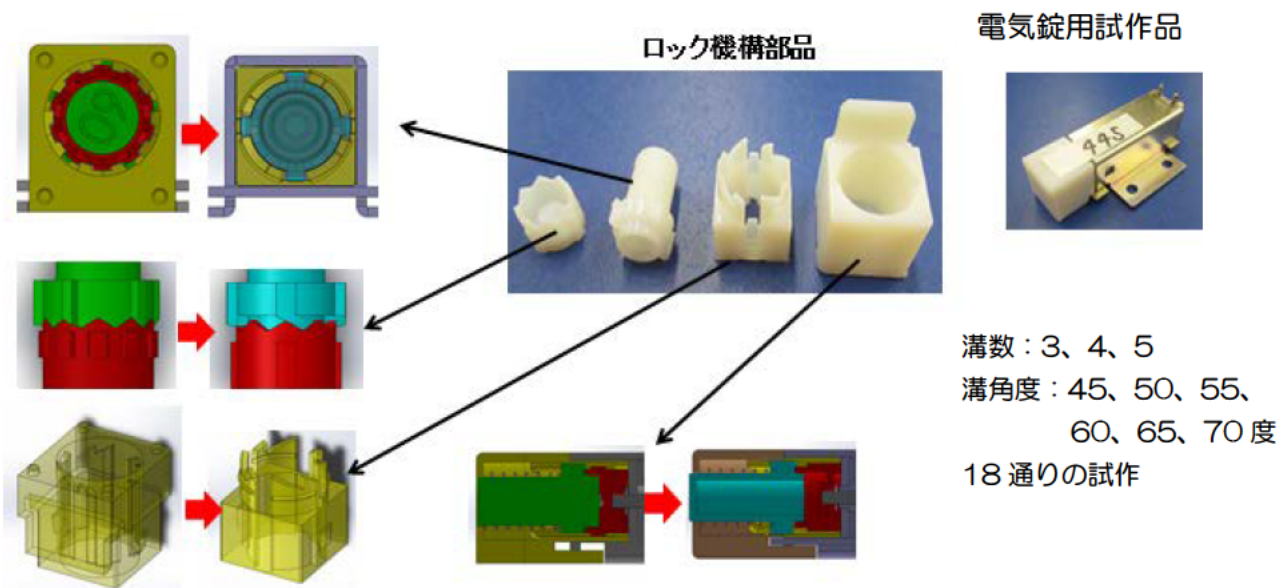
3種類の樹脂（POM ポリアセタール、PPS ポリフェニレンサルファイド、PA ナイロン）で部品製作後、温度試験を実施した。105℃の耐熱性（耐熱クラス A JIS C4003）は全ての材料がクリアした。金型品でも問題なかったため、成形が容易なPOMに決定した。

2-2-4 試作製作

【4-1】 機械加工による一次試作製作

<電気錠用>

当初、筒型を予定していたが、取付の利便性を考え、フレームタイプ（角型）に変更。樹脂部は3Dプリンターで、ソレノイド部はワイヤー加工で製作し、治工具等を製作の上組み付けた。溝数、溝角度 18通りの試作を製作、試験の結果最適値を決定した。



<リレー用>

リレー用は引き続き川下企業と打合せを重ねたが完成には至っていない。

【4-2】 金型品による二次試作製作

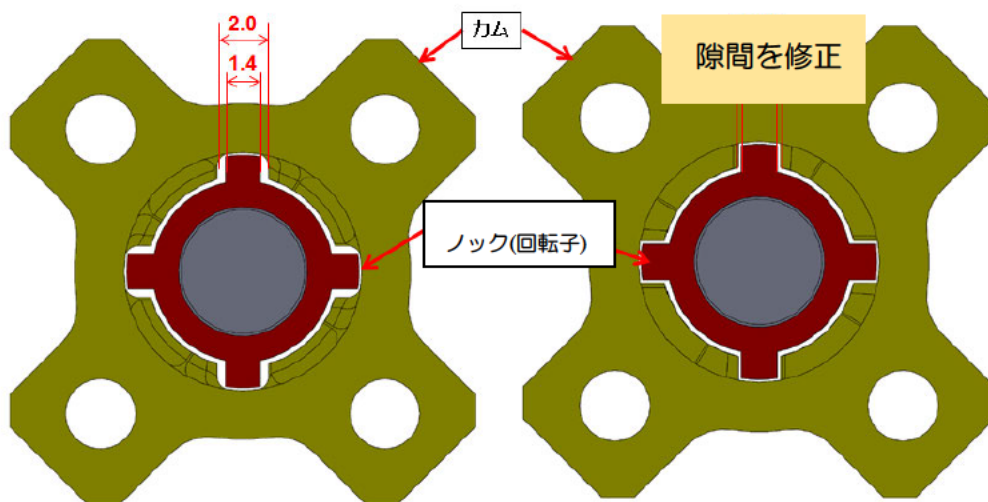
<電気錠用>

当社標準品電気錠用ソレノイドの試作生産を行った。

外形寸法：目標値 23×23×50mm に対し 18×18×50 mm 重量：30g に対し 62 g
重量に関しては、川下企業に電気錠用として問題ないことを確認した。

また、カム動作不良や耐久性を改善するために、カムの金型を改造して問題箇所を修正した。修正後は、問題なく動作し、耐久性も向上した。

試作品	カム溝 (mm)	カム - ノック間隙間(mm)	動作	耐久性
初回金型品	2.0	0.6	しない※1	-
1次改造品	カム - ノック間の隙間を修正		○	NG※2
2次改造品	カム - ノック間の隙間を修正		○	○



<リレー用>

リレー用に関しては、川下企業もリレーの形状等を数回変更し、最終形状に決定しつつある。ソレノイドもほぼ最終形状に落ち着き、今後の両社の話し合いの上で量産に向けて最終試作品を製作する。

【5 試験・評価】

2-2-5 試験・評価

【5-1】研究開発品単体及び川下企業の製品用の試験・評価

<電気錠用>

当社標準品の量産試作品を使って、耐熱性、耐久性、絶縁性、吸引力の試験・検証を行った。その結果、全ての試験をクリアした。

- 耐久性 60 万回（目標値は 30 万回）を達成 (H29 年 1 月)
- 性能試験、振動試験、先端荷重試験、温度上昇特性試験も問題なく、川下企業 A 社からの要求事項もクリアしたため、当社標準仕様品を川下企業 A 社仕様品として採用されることになった。今後は量産化に取り組む。

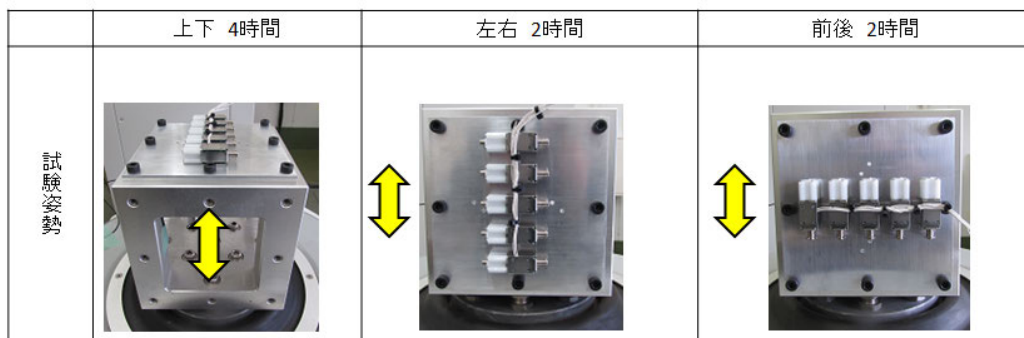
(試験内容)

電 圧	DC12.0V±10%
電 流	550mA
コイル抵抗	22Ω±10% (周囲温度20℃)
時間定格	50%使用
絶縁階級	A 種相当(105℃)

温度上昇特性	周囲温度 40℃ DC12V を 0.5secON/0.5secOFF の繰り返し印加した時、温度上昇飽和後のコイル温度上昇を確認する。
先端荷重確認試験	プッシュゲージを先端に当て荷重を加えたのち動作可能な荷重を確認する。
振動試験 (JIS D1601 7 段階相当) (自動車部品規格)	振動数 33.3Hz、振動加速度 6.8G 上下 4 時間、左右 2 時間、前後 2 時間の試験の実施後、外観、吸引力、動作、ネジトルクの確認をおこなう。
耐久試験	試験姿勢、可動鉄芯水平及び垂直の状態を DC12V を ON/OFF の繰り返し電圧を印加したとき、30万回以上動作すること。

※振動試験については長崎工業技術センターにて実施した。

- 試験条件 (JIS D1601 7 段階相当(自動車部品規格))
振動数 33.3Hz、振動加速度 6.8G、
- 試験方法
下図のとおり、上下 4 時間、左右 2 時間、前後 2 時間の試験の実施後、外観、吸引力、動作、ネジ締付トルクの確認を行う。
- 取付ネジ：ナベ小ネジ (製品本体：M2.5×20 固定用：M2.5×8)
- 初期の締付けトルク：39.2N(4Kgf.・cm)



振動試験装置：i230/SA2M (IMV製)

※磁界の測定

九州工業大学の磁気測定器によりソレノイド周辺の磁界の密度を測定した。
 (国際的ガイドライン(ICNIRP)に基づく測定)

ソレノイドから3 cm距離の磁界を測定

数秒間隔、100回以上の動作

結果→最大値0.8mT

公衆の暴露、低周波(5Hz以下)の基準1mT以下を
 満足しており、人体への安全性を確認した。



<リレー用>

- ・仕様等は、ほぼ決まったが、まだ改良箇所が残っている。
- ・価格(コスト)については、昨年より川下企業と協議中。

【5-2】「機械要素技術展」にて新製品発表と市場調査

機械部品、加工技術を集めた日本最大の専門展である「機械要素技術展」(東京・名古屋・大阪)に出展し、市場調査を実施した結果、事業化に有益な情報が得られた。量産時に連絡する会社を新規に発掘でき、電気錠以外にも使用用途があることも分かった。

機械要素技術展	招待状送付数	面談数	来場者数
名古屋	300	18	150
東京	400	23	250
大阪	300	21	180
合計	1,000	62	580



「磁石のない自己保持ソレノイドができないか？」という川下企業の一声から、ソレノイドの概念を全く覆す自己保持ソレノイド開発に着手し、「無磁型自己保持ソレノイド」の商品化を実現した。ソレノイド部の設計は、自社の既存技術や磁場解析等により比較的スムーズにできたが、全くの新しい機構である「樹脂部品を組み合わせた回転によるロック（自己保持）機構」の設計・製作に時間を要した。

「【4-1】機械加工による一次試作製作」では、樹脂製ロック機構部の溝数、角度の違う数種類の製品を組上げ、実際に動作させての実験でしか確認ができないため 18 パターンの試作品の動作検査を繰り返し実施した。ソレノイドで押した瞬間にノック棒を押し上げ、回転させてカムと回転子がきれいに入り、更に先端が出た状態を保持する機能は、パラメータ別に試作をして探る以外に検証できなかった。シミュレーション段階で、ある程度の検証が可能になれば開発がスムーズにでき、スピードアップできたのではないかと考えており、今後の開発における課題である。

現在、川下企業の A 社からロック機構部品として採用する提案があり試験中であるが、採用検討にはいっており早期量産を要請されている。

併せて、新商品として弊社海外ネットショップでも販売し、海外展開を行っていく。また、今回開発した「無磁型自己保持ソレノイド」を使った自社製品として、単 3 電池 4 本で動作する「後付け電気錠」を現在試作しており、ソレノイド単体の部品ではなく製品として販路開拓を行い、併せてソレノイド単体も PR を行っていく方針である。特に IOT アクチュエータとしての展開も今後期待できる。

さらに、2017 年夏からは中小企業基盤整備機構 関東本部の支援を受け、福祉市場向け電子錠を販路開拓コーディネート事業として企業訪問し販売促進に取り組む予定である。

今まではソレノイドの吸引力増加、ストローク長の増加など既存製品の改良・改善が主であったが、サポイン事業では今までにないものを新規に開発、しかも 3 年間の長期に渡る開発を外部のアドバイスや管理事業者の指導を受けることにより完成できたことは非常に意義深いと思う。今後は、量産に向けて原価の低減を実現し、早期に販売を開始したい。