

平成22年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「電気自動車車載用コモンモードラインフィルタの生産技術の開発」

研究開発成果報告書

平成24年 1月

委託者 東北経済産業局

委託先 財団法人庄内地域産業振興センター

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

1-2. 研究体制

1-2-1. 管理体制

1-2-2. 研究体制

1-2-3. 委員会等

1-2-4. 研究開発スケジュール

1-3. 成果概要

①. 磁性特性の向上に関する研究開発

②. 高速自動巻線システムの研究開発

③. 事業化に関する研究

第2章 本論

①. 磁性特性の向上に関する研究開発

①-1. 小型軽量化及び高効率化に資するフェライトコア及び製品の設計開発

①-2. 高透磁率、高インピーダンス、高キュリー温度フェライトコアの開発

②. 高速自動巻線システムの研究開発

②-1. コイリング技術の開発

②-2. 先端末端処理技術の確立

③. 事業化に関する研究

③-1. 顧客への試作品評価

③-2. 事業化に向けての市場調査

第3章 全体総括

3-1. 研究開発成果

3-2. 今後の課題及び事業化展開

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

現在電気自動車車載用に使用されているコモンモードラインフィルタは、トロイダル型が主流である。しかしながらそれらには以下の課題があり、川下企業よりそれぞれに対する改善のニーズがある。

課題	川下企業のニーズ
工数が高い(納期が掛かる) (加工費が高いため高価)	短納期化 低コスト化
大型/大重量	小型軽量化
品質のばらつきが大きい レイヤーショートの可能性ある	高品質化

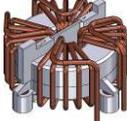
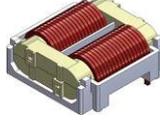
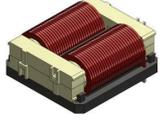
このような背景より本研究では、低コスト、小型軽量で高効率なコモンモードラインフィルタを開発することを目指した。

川下企業の抱える課題及びニーズを踏まえ、高速自動巻線が可能で、磁束漏れのない一体口の字型を採用し、粉末冶金技術の高度化により透磁率7,000で且つ140℃以上のキュリー温度を有する新たなフェライト材料を開発、これに供することで、小型軽量で高効率なコモンモードラインフィルタの開発を目指した。

巻線手法はレイヤーショートの可能性や品質のばらつきが少なく、高周波側のインピーダンスを向上させる単層巻きを採用した。

また、短納期化とコスト低減を目的に、トロイダル型に対し巻線工数 1/30 の高速自動巻線を可能にする高速自動巻線システムの開発を目指した。

表 1-1a. 開発品仕様及び目標値詳細

開発案件(仕向)		ニチコン-日産向け		豊田自動織機向け	
		現行品	開発品	開発品	
外観					
仕様概略	フェライトコア形状:	トロイダル	一体口の字		
	電線:	丸電線	平角電線		
	巻き仕様:	多層巻き (高周波特性が劣る)	単層巻き (高周波インピーダンス特性も良好)		
目標	生産工数	5分/個 (全て手作業)	10秒/個 (高速自動巻線化)		
	電气的特性	定格電流:	20A	20A	16A
		インダクタンス:	2.1mH (Typ) 1.5mH(min)	2.1mH(Typ) 1.5mH(min)	3.3mH(Typ)
		直流抵抗:	7.5mΩ (max)	7.5mΩ (Max)	10mΩ (Max)
	機械的特性	寸法(W×D×H):	55mm×55mm×32mm	52mm×50mm×22mm	指定無し(シミュレーション値) 50mm×56.4mm×23.5mm
		体積:	96,800mm ³	57,200mm ³ 対現行品:40%ダウン	指定無し(シミュレーション値) 66,270mm ³
重量:		135g	120g 対現行品:10%ダウン	指定無し(シミュレーション値) 166.12g	

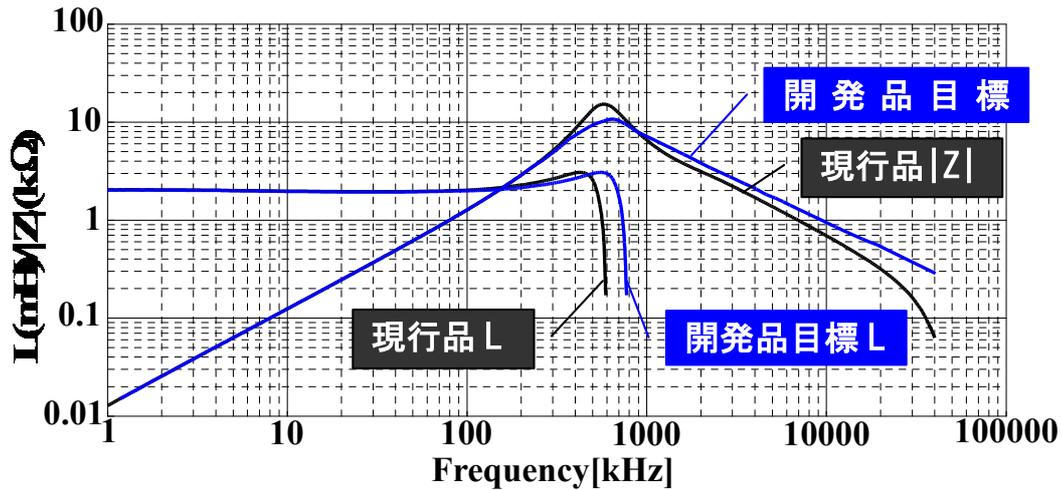


図 1-1b. インピーダンス |Z| 目標カーブ

1-2. 研究体制

1-2-1. 管理体制

事業管理者 財団法人庄内地域産業振興センター
〒997-0015 山形県鶴岡市末広町 3 番 1 号

氏名	所属・役職	実施内容
小林 時男	総務・企画担当課長	④研究統括・管理運営
小野 浩子	庶務・管理係長	④研究統括・管理運営

1-2-2. 研究体制

株式会社ウエノ
〒999-7634 山形県鶴岡市三和字堰中 1 0 0

氏名	所属・役職	実施内容
今野 幸男	製造部設計技術課長	①-1、③
海老澤 満男	開発室長	①-1、③

日本重化学工業株式会社 酒田事業所
〒998-0064 山形県酒田市大浜 1 丁目 4 番 6 3 号

氏名	所属・役職	実施内容
酒井 弘二	酒田事業所フェライト部 製造・技術グループ マネージャー	①-1、①-2
岡本 貴博	酒田事業所 フェライト部 製造・技術グループ 係長	①-1、①-2

株式会社グローバルマシーン

〒999-7781 山形県東田川郡庄内町余目字大塚 2 5

氏名	所属・役職	実施内容
齋藤 裕	設計課係長	②
土門 孝之	設計課主任	②

1-2-3. 委員会等(含むアドバイザー)

目的

戦略的基盤技術高度化支援事業の実施にあたり、研究計画等の協議検討及び研究機関の連携促進を目的に、研究推進委員会（以下「委員会」という。）を設置する。

研究推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
上野 隆一	株式会社ウエノ代表取締役社長	
今野 幸男	株式会社ウエノ製造部設計技術課長	PL 委
海老澤 満男	株式会社ウエノ開発室長	委
阿部 一幸	日本重化学工業株式会社酒田事業所長	
酒井 弘二	日本重化学工業株式会社酒田事業所 フレイト部 製造・技術グループ マネジャー	SL 委
菅原 勝安	株式会社グローバルマシーン代表取締役社長	
齋藤 裕	株式会社グローバルマシーン設計課係長	委
佐藤 淳	国立高等専門学校機構 鶴岡工業高等専門学校 電気電子工学科教授	アドバイザー
五十嵐 幸徳	国立高等専門学校機構 鶴岡工業高等専門学校 機械工学科准教授	アドバイザー
金内 秀志	山形県工業技術センター庄内試験場機電技術部 開発研究専門員	アドバイザー
齋藤 徳哉	山形県庄内総合支庁 産業経済部産業経済企画課 産業振興専門員	

アドバイザー

氏名	主な指導・協力事項
中川 将吾 ニチコン(株) 管理部長	・新技術コモンモードラインフィルタに関する評価・アドバイス
佐藤 淳 鶴岡高専 電気電子工学科教授	・高速自動巻線システムの巻線機構及び全体のシーケンス制御に関するアドバイス
五十嵐 幸徳 鶴岡高専 機械工学科准教授	・高磁気特性フェライトコア開発に関するアドバイス
金内 秀志 山形県工業技術センター 庄内試験場 開発研究専門員	・フェライトコアの焼結組織の観察及び元素分析に関するアドバイス ・チョークコイルのインピーダンス、インダクタンス等の特性検査に関するアドバイス ・高速自動巻線システムの生産技術に関するアドバイス

1-2-4 研究開発スケジュール

実施内容	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
①磁性特性の向上に関する研究開発												
①-1 小型軽量化及び高効率化に資するフェライトコア及び製品の設計	→											
①-2 高透磁率、高インピーダンス、高キユリー温度フェライトコアの開発												
①-2-1 材料開発	→											
①-2-2 造粒技術												
①-2-3 焼成技術												
②高速自動巻線システムの開発												
②-1 コイリング技術の開発												
②-2 先端末端処理技術の開発												
③事業化に関する研究												
③-1 顧客への試作品の評価												
③-2 事業化に向けての市場調査												
④研究全体の統括、プロジェクトの管理運営												
④-1 全体計画の企画	→											
④-2 進捗管理	→											
④-3 研究推進委員会開催(年3回)		●								●		●
④-4 報告書とりまとめ												→

1-3. 成果概要

- ①. 磁性特性の向上に関する研究開発（株式会社ウエノ、日本重化学工業株式会社）
現在、(株)ウエノが生産しているトロイダル型コモンモードラインフィルタや、競合他社の分割口の字型コモンモードラインフィルタより小型軽量化を実現するため、透磁率 μ 7,000、キュリー温度 140℃以上の新しいフェライトコアを開発した。そのフェライトコアの持つポテンシャルを最大限活かすため、磁性特性向上のための主成分組成・機能性添加物等の材料設計、造粒条件の検討、焼成テスト等を行い、フェライトコア及び製品形状の最適化を図った。
- ①-1. 小型軽量化及び高効率化に資するフェライトコア及び製品の設計
- ・透磁率 μ 7,000 材を適用し、磁路長、断面積、巻数のパラメータの中で、必要インダクタンスを満たす最適なフェライトコア形状を設計した。
(株式会社ウエノ)
 - ・電流容量を満たす平角電線寸法を検討した。(株式会社ウエノ)
 - ・上記 2 項目のパラメータを振り、シミュレーションを重ねることで、現行トロイダル型に対し体積比 40%、重量費 10%ダウンを実現する最適条件を探った。
(株式会社ウエノ)
 - ・上記にて決定したフェライトコア形状で試作用「コア金型」を起工、その「コア金型」を日本重化学工業株式会社に設置する「油圧プレス機」に装着した。これに「小型スプレードライヤー」等により造粒した材料を投入してプレス成形し、ラボ実験炉または「コア焼成炉」等で焼成することによって、フェライトコアの試作を行った。(日本重化学工業株式会社)
 - ・そのフェライトコア試作品の特性を確認し、シミュレーションとの比較を行った。このとき、必要とする特性が得られず、フェライトコア形状に起因する場合、再度形状検討を行い、新たな「コア金型」を起工、日本重化学工業株式会社にフェライトコアの試作を行った。
(株式会社ウエノ・日本重化学工業株式会社)
 - ・上記にて作成したフェライトコア試作品に合わせたカバーを設計し、試作用「カバー金型」を起工、カバーの試作を行った。(株式会社ウエノ)
 - ・上記カバー試作品及びフェライトコア試作品にて製品試作サンプルを作成、形状、電気的特性等全体的な特性評価を行った。このとき、カバー形状に起因する不具合が発生した場合、再度形状検討を行い、新たな「カバー金型」を起工、カバーの試作を行った。(株式会社ウエノ)

①-2. 高透磁率、高インピーダンス、高キュリー温度フェライトコアの開発
(日本重化学工業株式会社)

①-2-1. 材料開発

- ・-40～140℃が使用温度範囲に入るような、透磁率 μ 8,000～9,000 材になる主成分組成 (Fe₂O₃, MnO, ZnO 等) を検討した。
- ・機能性添加物 (SiO₂, CaO 等) のマッピング実験により、透磁率とインピーダンスがどのように変化するか分布を調べ、後の実験で再調整するときの参考データを作った。
- ・他の機能性添加物 (粒径・粒界、磁気特性を制御するもの) により、Q値あるいはインピーダンス値をコントロールする実験を行った。
これらの主成分組成、機能性添加物により、コア形状設計が要求する磁性特性の材料を設計した。材料は、「小型スプレードライヤー」等により造粒し、「コア金型」等にこの造粒粉を投入して「油圧プレス機」等でプレス成形し、ラボ実験炉または「コア焼成炉」等で焼成することによって、フェライトコアを試作した。

①-2-2. 造粒技術

- ・「小型スプレードライヤー」で造粒条件 (粘度、バインダー等) を検討し、密度の高いプレス成形品を作るのに適した造粒条件を検討した。

①-2-3. 焼成技術

- ・ラボ実験炉で焼成プログラムを開発した。
- ・ラボ実験炉で開発した焼成プログラムをスケールアップし、「コア焼成炉」を用いて量産炉で安定操業出来る焼成プログラムを検討した。必要に応じ、海外等のコアメーカーが所有する量産炉の視察調査、焼成テストを行った。
- ・高特性の阻害要因となるフェライトコア表面からの ZnO 揮発で出来た低特性層と、奥から揮発してきた ZnO による気孔を抑制するために、焼成治具を開発した。
- ・粉埋め法等により、炉内 ZnO 蒸気圧を高くしフェライトコアからの ZnO 揮発及び表面層の気孔を抑制する焼成方法をラボ実験炉および「コア焼成炉」を用いて検討した。この際、量産段階における埋め粉法等のコストダウンの検討を行った。必要に応じ、海外等のコアメーカーが所有する量産炉の視察調査、焼成テストを行った。

<実施内容①で共通して使用する設備の設置についての記述>

- ・日本重化学工業株式会社 酒田事業所に「小型スプレードライヤー」を設置し、日本重化学工業株式会社が使用した。
- ・日本重化学工業株式会社 酒田事業所に「油圧プレス機」を設置し、「コア

金型」を装着して、日本重化学工業株式会社が使用した。

- ・日本重化学工業株式会社 酒田事業所に「コア焼成炉」を設置し、日本重化学工業株式会社が使用した。

②. 高速自動巻線システムの研究開発（株式会社グローバルマシーン）

コモンモードラインフィルターコイル巻線装置全体のシステムを構築し、その構築されたシステムより細分化されたユニット、各部品を製作、組み立てを行った。装置を、株式会社グローバルマシーン庄内工場に設置し、本システムの最重要項目である、以下の②-1、②-2の二点について検討を行い、技術を確立した。その際、株式会社ウエノより提供された製品試作品にて検討を重ねた。

株式会社グローバルマシーン庄内工場に「形彫り放電加工機」を設置し、検討に基づき、最適形状の高精密部品加工等の製作技術を研究した。

②-1. コイリング技術の開発

- ・密着巻き、整列巻きを実現するための成形ローラー、補助ローラーの最適形状、最適制御技術を確立した。
- ・巻数制御を確実にするセンシング技術、送り装置等の制御技術を確立し、手巻きのトロイダル型コイルに比べ、巻線工数の1/30を実現した。

②-2. 先端末端処理技術の確立

- ・R付けされた電線の末端を引き伸ばし、直線にするためのガイド、治具形状を検討した。その際、先端末端処理の最適制御技術を確立した。
- ・システムが安定的に試作品を製作出来るようになった時点で、株式会社ウエノへコイル巻線装置を移設し、更に検証を重ねた。その際不具合等が挙げられた場合、株式会社ウエノより株式会社グローバルマシーンにフィードバックを行い、改善、検証を重ねた。



図. 1. 3a 自動巻き線機全体



図. 1-3b 巻き線ユニット部

<実施内容②で共通して使用する設備の設置についての記述>

- ・株式会社グローバルマシーン庄内工場に「形彫り放電加工機」を設置し、株式会社グローバルマシーンが使用した。
- ・株式会社グローバルマシーン庄内工場に「コモンモードラインフィルタークoil巻線装置」を設置し、成形・補助ローラー及び先端末端処理等の最適制御技術を確立のための検証を行った。「コモンモードラインフィルタークoil巻線装置」の安定作動確認後、同装置を株式会社ウエノに移設し、試作を繰り返す等、更に検証・改良を重ねた。

③. 事業化に関する研究（株式会社ウエノ）

事業化に向け、各川下企業の電気自動車開発動向、車載用コモンモードラインフィルタ市場の動向及びトレンドについて、研究開発と同時に調査した。

③-1. 顧客への試作品の評価

カバー切削品が完成した時点で川中企業であるニチコン株式会社及び豊田自動織機へ試作品を提供し評価、アドバイスを受けた。そのアドバイスを製品設計に盛り込み金型起工へ反映した。また、その際、川下企業からの評価を仰ぎ、技術的な市場のニーズを探った。

③-2. 事業化に向けての市場調査

事業化に向け、本研究開発品の優位性を調べるため、車載用コモンモードラインフィルタの技術的動向、トレンド等を調査した。尚、調査に当り、現在取引のある車載アプリケーションにコネクションのある商社のネットワークを活用した。

第2章 本論

①. 磁性特性の向上に関する研究開発

①-1. 小型軽量化及び高効率化に資するフェライトコア及び製品の設計開発

(株式会社ウエノ/日本重化学工業株式会社)

[研究目的]

シミュレーションにて、製品目標値を達成する各部材の最適なパラメータ及び形状、寸法を探る。その後、試作を実施、成果物の評価検証を行い、達成度を確認する。

①-1-1. フェライトコアの設計 (株式会社ウエノ)

[設計方法]

焼結後(完成品)としての透磁率 μ を7,000に設定し、巻き数 N 、断面積 A 、磁路長 le の各パラメータを可変させ、目標規格を達成するパラメータを探った。但し、口の字型の場合角の部分の断面積が磁路に対し一定ではなく、分布乗数要素があるため、各部位の断面積と磁路長を分け、最終的に全体のインダクタンスを求めた。

・インダクタンス計算式

$$Rm_1 = \frac{le_1}{\mu_1 A_1} \quad Rm_2 = \frac{le_2}{\mu_2 A_2} \quad Rm_3 = \frac{le_3}{\mu_3 A_3} \dots$$

$$Fm = (Rm_1 + Rm_2 + Rm_3 \dots) \phi$$

$$\phi = \frac{Fm}{Rm_1 + Rm_2 + Rm_3 \dots} = \frac{Fm}{Rm}$$

$$Rm = \frac{1}{\frac{1}{Rm_1} + \frac{1}{Rm_2} + \frac{1}{Rm_3} \dots} \quad [H^{-1}]$$

Rm: 磁気抵抗
Fm: 起磁力
 Φ : 磁束
 μ : 透磁率
le: 磁路長
A: 断面積

[設計結果]

あらゆるケースのシミュレーションを実施し、最終的に3箇所の部位に分けパラメータを算出、コア全体の形状、寸法を決定した。

(図①-1-1a 参照)

・Point①

断面積: 断面図 A-A

磁路長: ——

・Point②

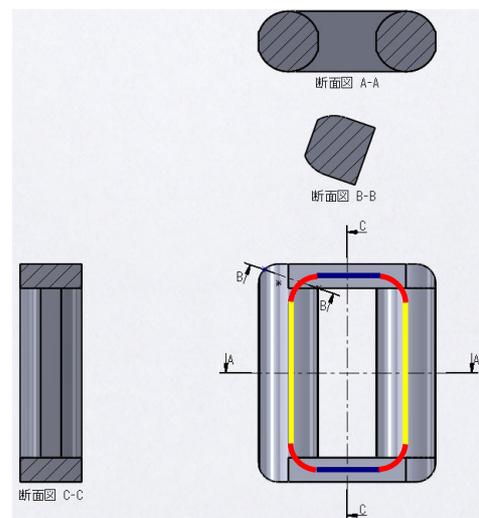
断面積: 断面図 B-B

磁路長: ——

・Point③

断面積: 断面図 C-C

磁路長: ——



図①-1-1a. フェライトコアパラメータポイント詳細

Case:ニチコン-日産向け

Point	巻数 (Ts)	透磁率 μ	断面積 A(mm ²)	磁路長 l_e (mm)
①	17	7,000	121.453	35
②			137.393	7.798
③			62.5	11.8

$Rm①=3.28 \times 10^{-4}$

$Rm②=6.45 \times 10^{-5}$

$Rm③=2.15 \times 10^{-4}$

$Rm(Total)=1.34 \times 10^{-3} H^{-1}$

L=2.152mH

結果、目標値である 1.5mH(Min) に対し約 30%のマージンを得る、上記のパラメータにて形状及び寸法を決定した。(図①-1-1b 参照)

Case:豊田自動織機向け

Point	巻数 (Ts)	透磁率 μ	断面積 A(mm ²)	磁路長 l_e (mm)
①	26	7,000	122.03	39
②			135.16	7.48
③			75	13.2

$Rm①=3.63 \times 10^{-4}$

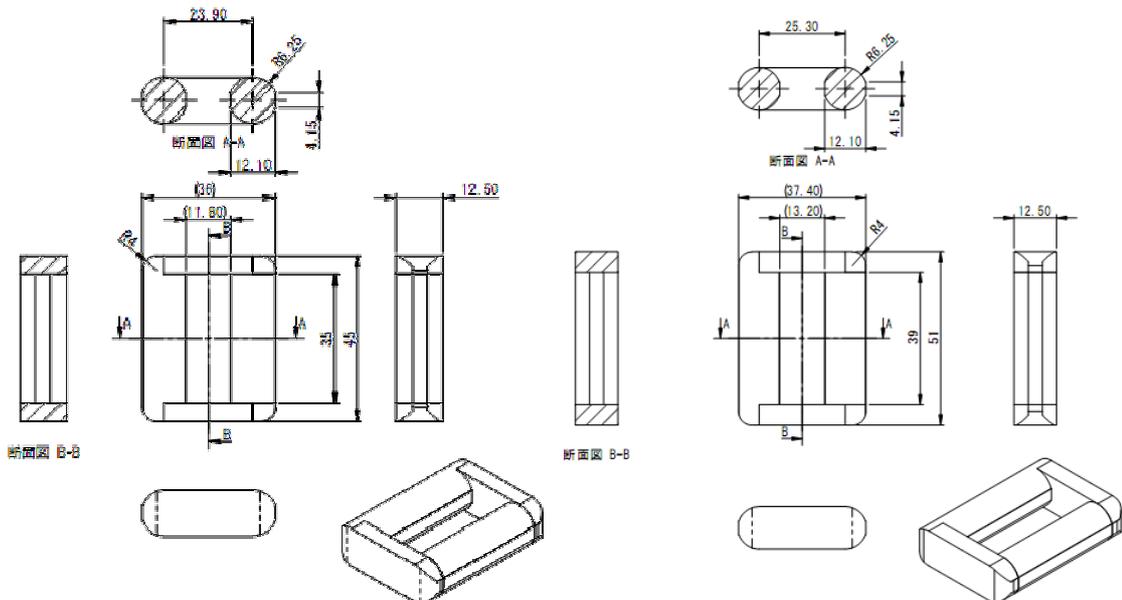
$Rm②=6.29 \times 10^{-5}$

$Rm③=2.00 \times 10^{-4}$

$Rm(Total)=1.38 \times 10^{-3} H^{-1}$

L=4.90mH

結果、目標値である 3.3mH(Min) に対し約 30%のマージンを得る、上記のパラメータにて形状及び寸法を決定した。(図①-1-1c 参照)



図①-1-1b. ニチコン-日産向けフェライトコア図面

図①-1-1c. 豊田自動織機向けフェライトコア図面

①-1-2. 平角電線寸法の検討 (株式会社ウエノ)

[検討方法]

①-1-1 で得られたフェライトコア寸法にカバー厚みを加味し、直流抵抗値及び発熱量の目標規格を達成する平角電線寸法を求めた。その際、下の公式でシミュレーションを実施、発熱量は同じ断面積の丸線にて確認、検証を行なった。

・直流抵抗計算式

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

ρ : 体積固有抵抗 (1.68×10^{-8})
l : 電線長
A : 断面積

[検討結果]

Case: ニチコン-日産向け

電線長 l (m)	発熱 ΔT (deg)	直流抵抗 DcR (m Ω)	断面積 A (mm 2)	平角電線寸法 W \times H (mm)
0.95	45 (※)	6.5	3.0	1.5 \times 2.0

※) 株式会社ウエノ設計基準にて設定。それ以外は川下企業からの指定。

雰囲気温度 60deg (仮定) とコイル発熱温度の和がキュリー温度 140deg に対し 30% 以上のマージンを持つこと。

Case: 豊田自動織機向け

電線長 l (m)	発熱 ΔT (deg)	直流抵抗 DcR (m Ω)	断面積 A (mm 2)	平角電線寸法 W \times H (mm)
1.7	40 (※)	8.9	3.2	1.0 \times 3.2

※) 川下企業からの指定。

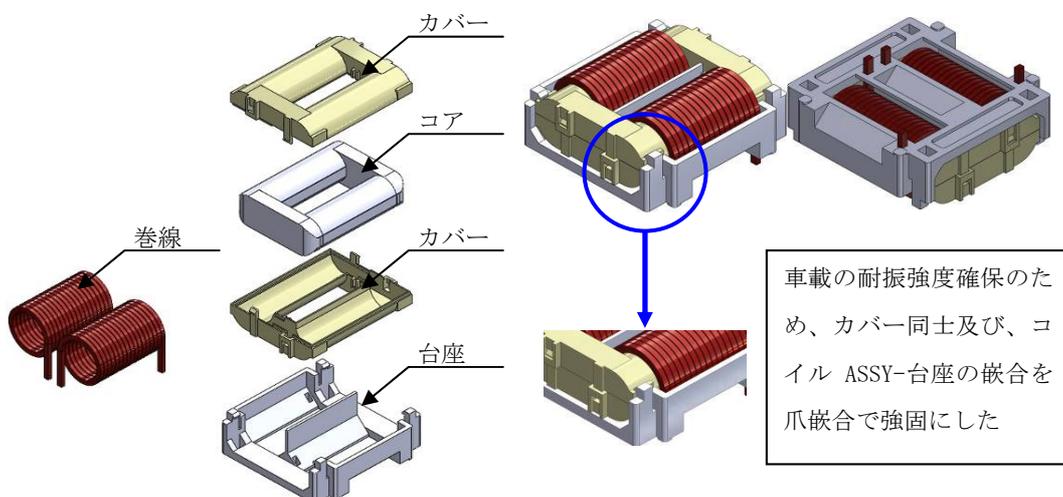
①-1-3. カバー、台座の設計 (株式会社ウエノ)

[設計方法]

①-1-1 で得られたフェライトコア寸法及び、①-1-2 で得られた平角電線寸法にて、カバー、台座の設計を行なった。この際絶縁性及び車載向けに要求される耐振強度を確保出来るよう、強固な嵌合機構を設けた。

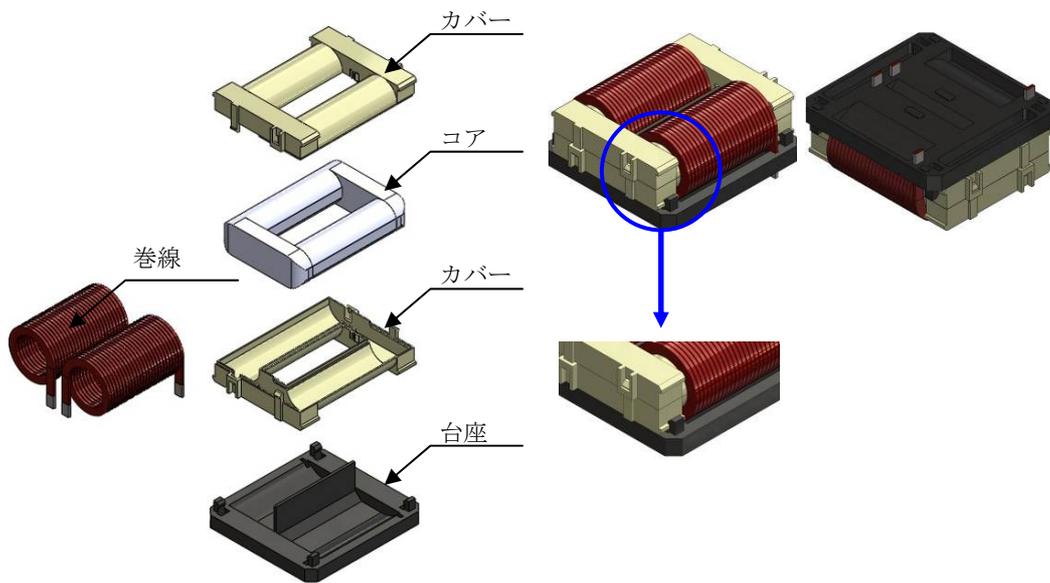
[設計結果]

Case: ニチコン-日産向け



図①-1-3a. ニチコン-日産向け製品 3D アッセンブリモデル

Case: 豊田自動織機向け



図①-1-3b. 豊田自動織機向け製品 3D アセンブリモデル

①-1-4. 製品シミュレーション解析 (株式会社ウエノ)

[解析方法]

①-1-1 から①-1-3 で設計した部材を 3D CAD 上でアッセンブリし、寸法(体積)、重量のシミュレーションを行い、目標値に対する達成度を確認した。

実際は①-1-1から①-1-4の作業の中で、フィードバック、修正を繰り返し行い、最終的に目標値をクリアさせるという流れで実施した。

[解析結果:外形寸法、体積]

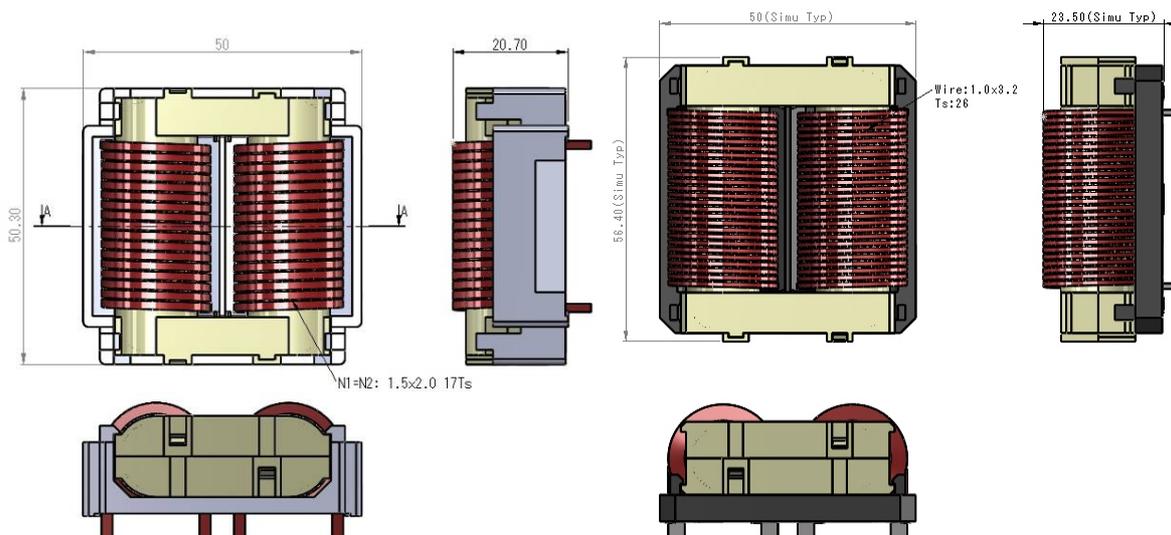
Case: ニチコン-日産向け

外形寸法、体積共に目標値を達成した。

	目標値	シミュレーション
外形寸法 WxDxH(mm)	52.0×50.0×22.0	50.0×50.3×20.7 (図①-1-4a 参照)
体積(mm ³)	57,200.0	52,060.5

Case: 豊田自動織機向け

	目標値	シミュレーション
外形寸法 WxDxH(mm)	N/A	50.0×56.4×23.5 (図①-1-4b 参照)
体積(mm ³)	N/A	66,270.0



図①-1-4a. ニチコン-日産向け製品外観寸法図 図①-1-4b. 豊田自動織機向け製品外観寸法図

[解析結果:重量]

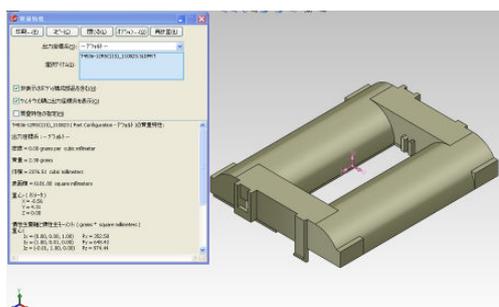
Case: ニチコン-日産向け

目標 120g に対し、製品特性を優先的に得るために 138.85 と設定した。

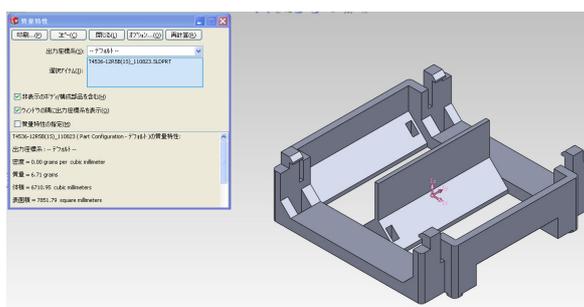
	容積 (mm ³)	密度 (g/ mm ³)	重量 (g)
コア	13,408.83	0.00495	66.37
カバー	4,753.00	0.00196	9.32
台座	6,710.95	0.00196	13.15
電線			50.00
TOTAL			138.85
目標			120.00

Case: 豊田自動織機向け

	容積 (mm ³)	密度 (g/ mm ³)	重量 (g)
コア	14,685.94	0.00495	72.70
カバー	5,885.24	0.00196	11.54
台座	6,065.20	0.00196	11.89
電線			80.00
TOTAL			176.13



図①-1-4c. 参考) カバー体積シミュレーション



図①-1-4d. 参考) 台座体積シミュレーション

①-1-5. フェライトコア金型起工/焼成実験（日本重化学工業株式会社）

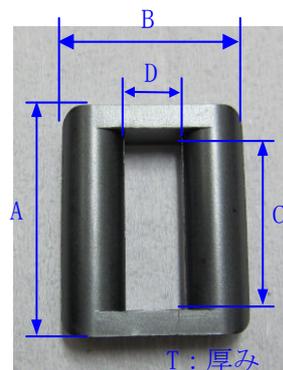
[方法]

①-1-1～①-1-4 までのシミュレーションにより設計したコアについて、焼成後の収縮率を考慮し、グリーンコアの設計を行ない、金型を起工した。

これを油圧プレス機に装着し成型を行い、成型したグリーンコアを焼成炉で焼成し、焼成後のコア寸法を確認した。（寸法測定箇所：図①-1-5a 参照）

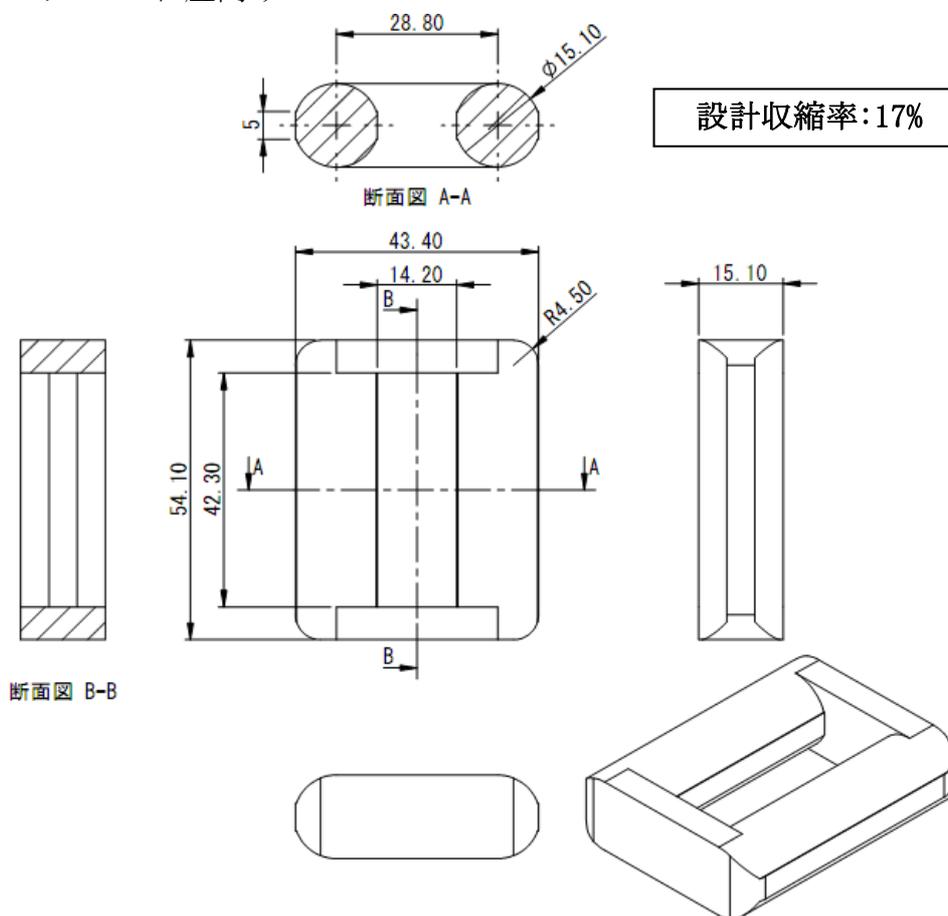
[結果]

ニチコン-日産向けおよび豊田自動織機向け共に、ほぼシミュレーションどおりの寸法を得た。



図①-1-5a. コア寸法

Case: ニチコン-日産向け

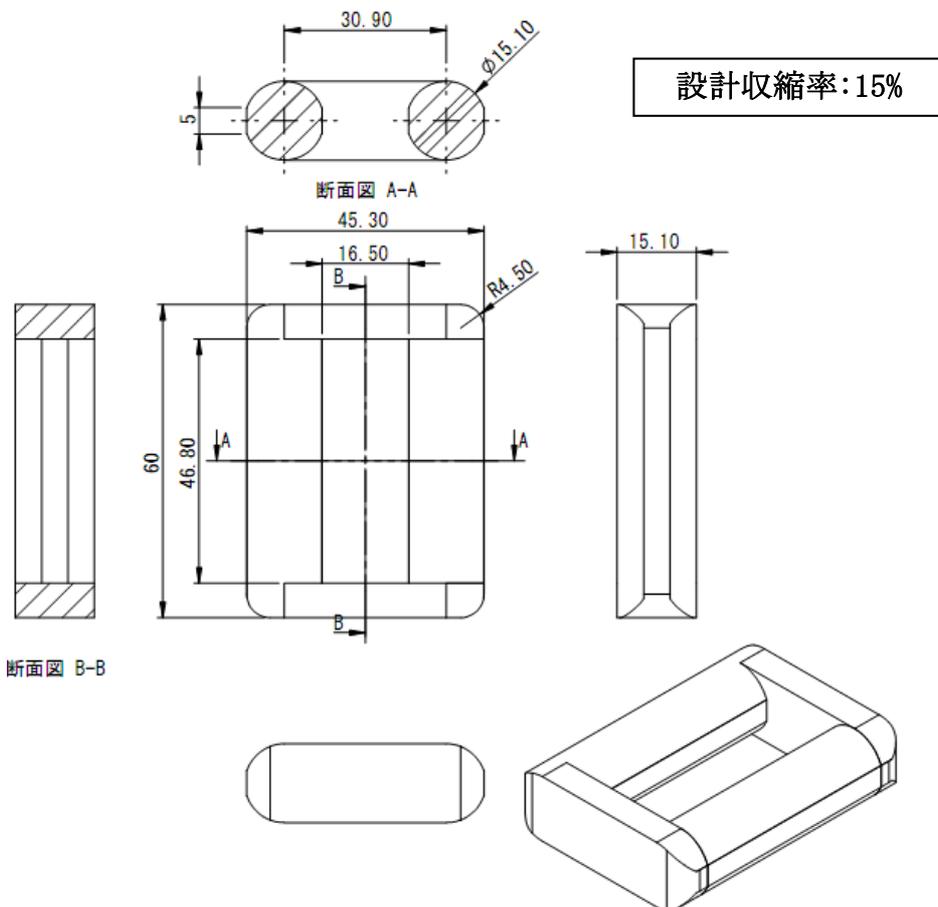


図①-1-5b. ニチコン-日産向けグリーンコア図面(金型用図面)

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	T (mm)	Wt (g)	収縮率 (%)
目標	45.0	36.0	35.0	11.8	12.5	63.3	-
実測 (Ave.)	45.1	35.9	35.4	11.4	12.6	62.8	16.73

表①-1-5c. 焼成後のコア寸法(目標値及び実測値)

Case: 豊田自動織機向け



図①-1-5d. 豊田自動織機向けグリーンコア図面(金型用図面)

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	T (mm)	Wt (g)	収縮率 (%)
目標	51.0	37.4	39.0	13.2	12.5	73.3	-
実測 (Ave.)	50.9	37.5	38.7	13.2	12.3	71.7	15.3

表①-1-5e. 焼成後のコア寸法(目標値及び実測値)

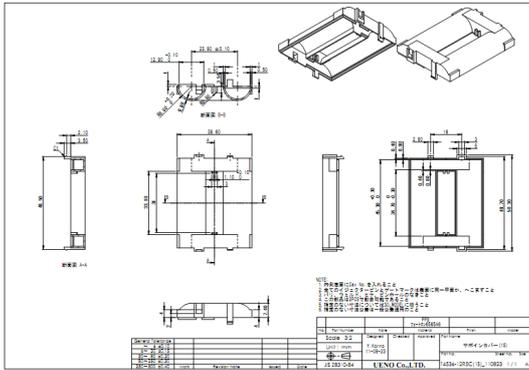
①-1-6. コアカバー、台座金型起工/試作 (株式会社ウエノ)

[方法]

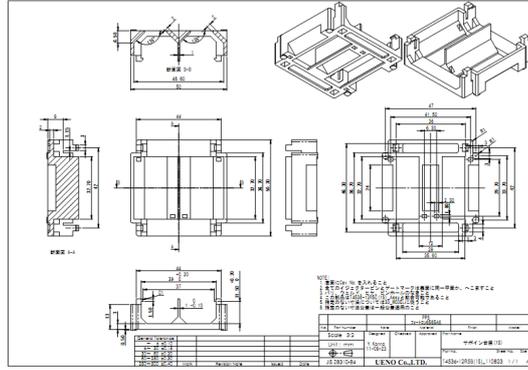
①-1-5 の焼成実験結果にて得られた寸法に合うコアカバー及び台座の図面を作成、金型を起工し、試作を実施した。

[結果]

Case: 豊田自動織機向け



図①-1-6a. ニチコン-日産向けカバー図面



図①-1-6b. ニチコン-日産向け台座図面

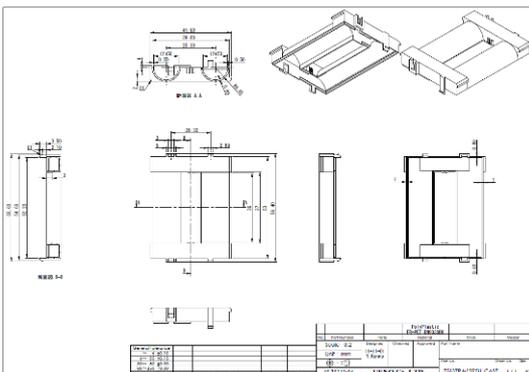


図①-1-6c. ニチコン-日産向けカバー試作品

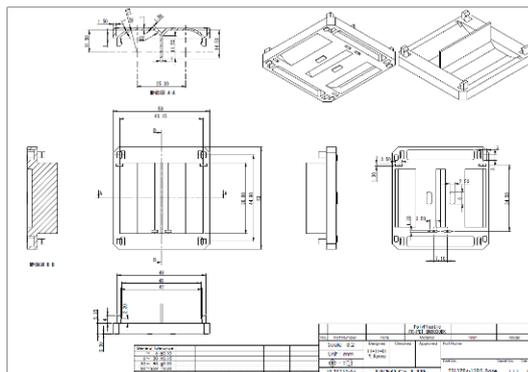


図①-1-6d. ニチコン-日産向け台座試作品

Case: 豊田自動織機向け



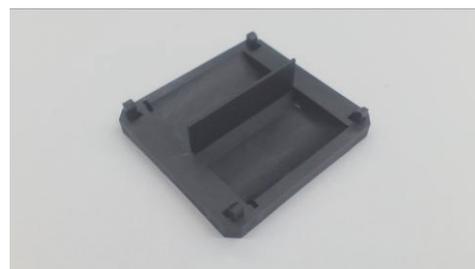
図①-1-6e. 豊田自動織機向けカバー図面



図①-1-6f. 豊田自動織機向け台座図面



図①-1-6g. 豊田自動織機向けカバー試作品



図①-1-6h. 豊田自動織機向け台座試作品

①-1-7. 製品試作検証（株式会社ウエノ）

[評価、検証方法]

①-1-6 で起工したカバー、台座と、①-2. 高透磁率、高インピーダンス、高キユリー温度フェライトコアの開発、で開発したフェライトコアを組み込み、②高速自動巻線システムの研究開発、で開発した自動巻き線機にて試作を実施し、以下の項目について特性評価、検証を実施した。

	測定項目	測定方法/測定器
機械的特性	外形寸法(体積) 製品重量 電線重量	ノギス 電子天秤 電子天秤
電気的特性	インダクタンス(@1kHz/0.1V) インピーダンス(@10MHz/0.1V) インダクタンス/インピーダンス(周波数特性) 直流抵抗 温度上昇	インピーダンスアナライザ [®] HP4194A インピーダンスアナライザ [®] HP4194A インピーダンスアナライザ [®] HP4194A mΩハイスタ 3540 直流安定化電源 PS20-54 ロガー GL220



図①-1-7a. インダクタンス/インピーダンス測定



図①-1-7b. 温度上昇測定



図①-1-7c. 直流抵抗測定

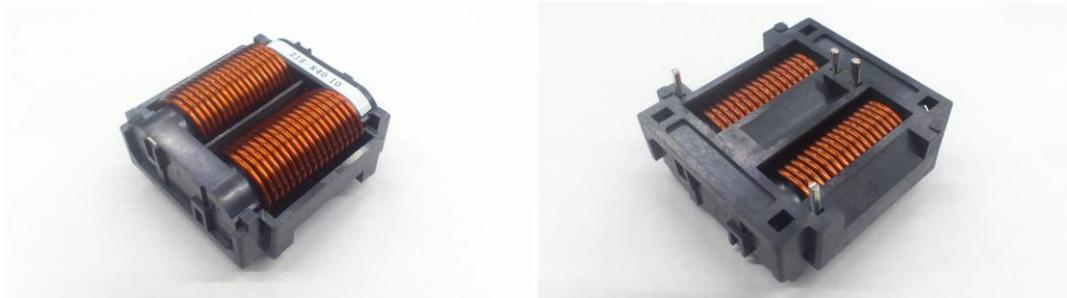


図①-1-7d. 寸測定

[評価、検証結果]

Case:ニチコン-日産向け

寸法及び体積は目標値を十分に満足し、体積目標値 40%ダウンに対し、47%ダウンを実現出来た。製品重量は特性優先のため現行品同等であったが、電線重量を10%以上軽くすることが出来た。電気的特性については、直流抵抗、温度上昇共に目標値をクリアし、インダクタンスも 1.5mH (Min) を満足出来た。インピーダンスにおいては、10MHz において現行品 0.68k Ω に対し、3.6 倍の 2.45k Ω と大幅に向上することが出来た。



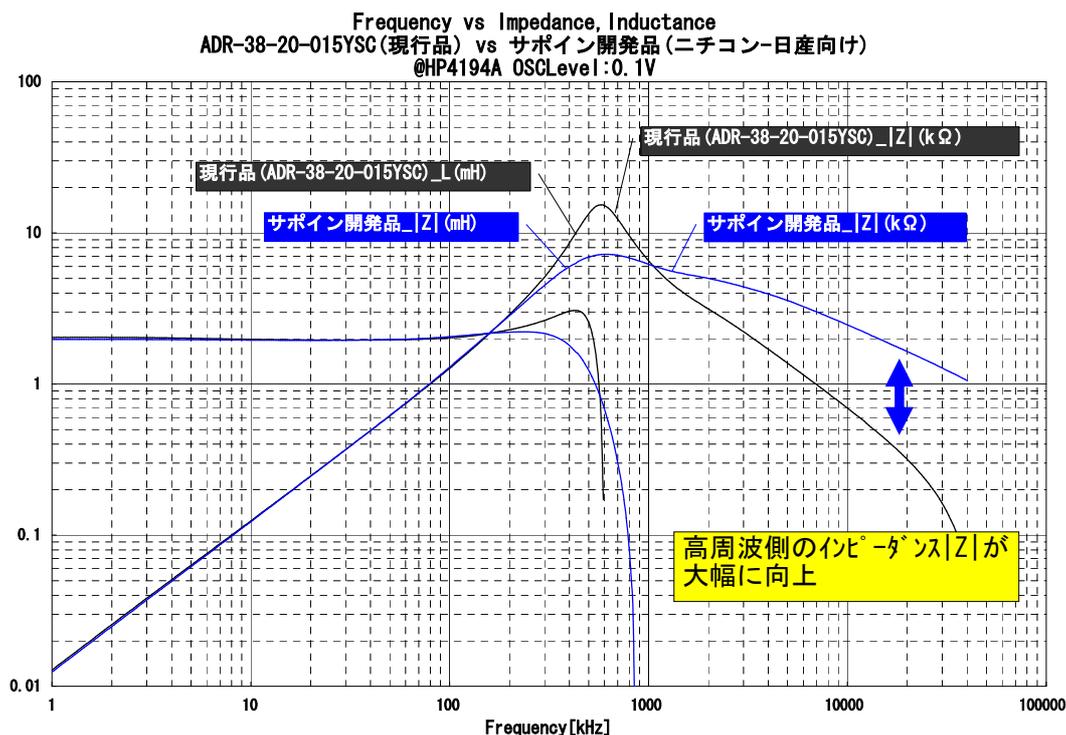
図①-1-7e. ニチコン-日産向け試作品

・機械的特性結果

	目標値及び現行品特性値	開発品実測値
外形寸法 (WxDxH)	52mm×50mm×22mm(目標値) 55mm×55mm×32mm(現行品)	50.04mm×50.34mm×20.35mm
体積	57,200mm ³ (目標値) 96,800mm ³ (現行品)	51261.9mm³ 現行品より≒47%ダウンを実現
製品重量	120g(目標値) 135g(現行品)	133g 目標値には至らないが、ほぼ現行品同等
電線重量	54.0g(現行品)	47.9g 現行品より≒10%ダウンを実現

・電気的特性結果

	目標値及び現行品特性値	開発品実測値
インダクタンス @1kHz/0.1V	2.1mH(Typ) 1.5mH(Min)(目標値)	2.0mH
インピーダンス @10MHz/0.1V	0.68k Ω (現行品)	2.45kΩ
直流抵抗	7.5m Ω (Max)(目標値) 5.9m Ω (現行品)	6.1mΩ
温度上昇値	45deg@20A	45deg@20A



図①-1-7f. インダクタンス/インピーダンス vs 周波数(ニチコン-日産向け) N=10pcs 平均

Case: 豊田自動織機向け

外形寸法、体積、重量はシミュレーションとほぼ同等の結果を得た。

電気的特性については全ての項目を満足しており、その中でもインピーダンスにおいては、同スペクトロイダル品に比べ、1MHz で約 1.5 倍、10MHz においては約 2 倍の値を得られた。



図①-1-7g. 豊田自動織機向け試作品

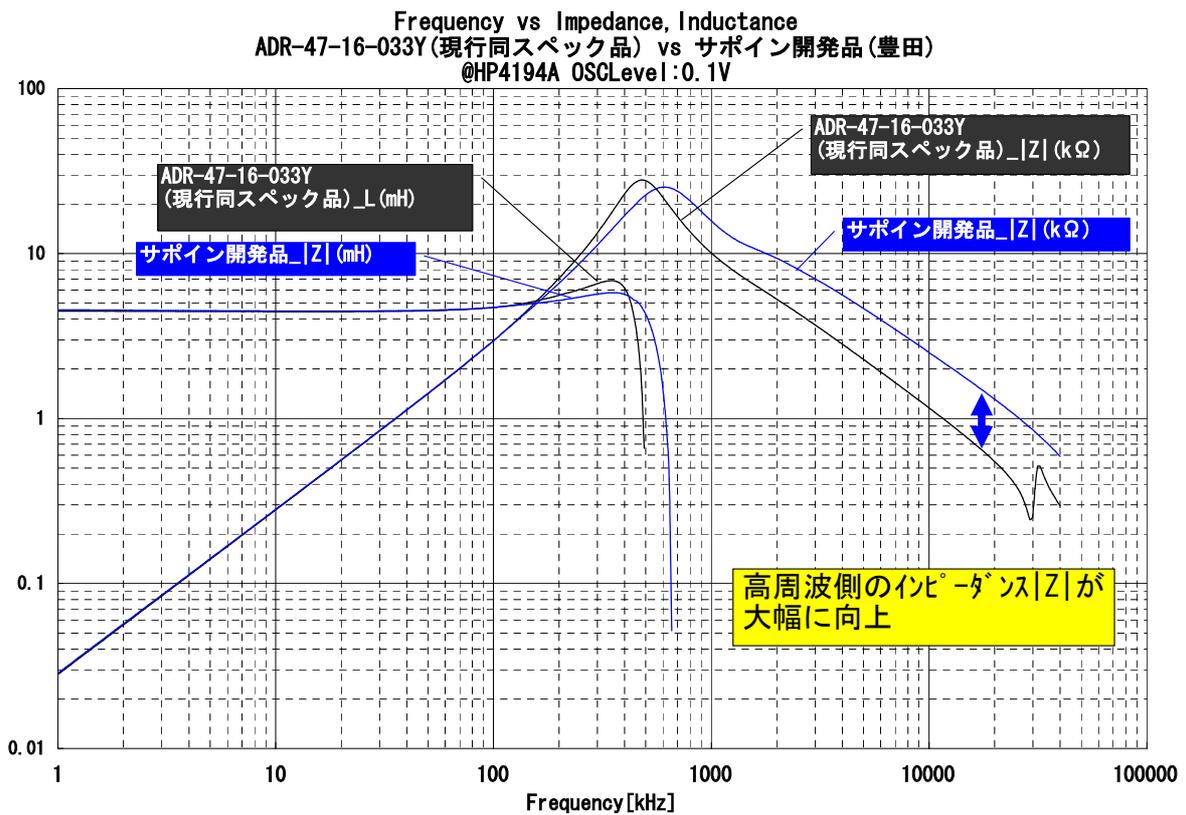
・ 機械的特性結果

	シミュレーション値(※)	開発品実測値
外形寸法 (WxDxH)	50.0mm×56.4mm×23.5mm	49.96mm×56.20mm×23.90mm
体積	66,270.0 mm ³	67,105.3 mm ³
製品重量	176.13g	177.1g
電線重量	80g	83g

※) 目標値指定無しのため、シミュレーション値との比較とした

・電気的特性結果

	目標値	開発品実測値
インダクタンス @1kHz/1V	3.3mH (Min)	4.4mH
インピーダンス @10MHz/1V	指定無し 参考) 同スペック品 1.15k Ω	2.49k Ω
直流抵抗	10.0m Ω (Max)	8.2m Ω
温度上昇値	40deg@16A	35deg@16A



図①-1-7h. インダクタンス/インピーダンス vs 周波数(豊田自動織機向け) N=1pcs

①-2. 高透磁率、高インピーダンス、高キュリー温度フェライトコアの開発 (日本重化学工業株式会社)

①-2-1. 材料開発

[研究目的]

現行トロイダルコアは透磁率 $\mu_i=5500$ の材料が使用されているが、コア形状をロの字形状とすることで、磁気抵抗が変化しインダクタンスが低下するため、より透磁率が高い材料が必要となる。そこで、キュリー温度 $T_c \geq 140^\circ\text{C}$ で、透磁率 $\mu_i=7000$ で高インピーダンスの材料を開発する。

インダクタンス L と μ_i は相関があることから、以後の報告では、トロイダルコアの特性を透磁率 μ_i で、試作したロの字型コアの特性をインダクタンス L で報告する。ロの字形状コアのインダクタンスの評価目標値は 20Ts で $L_{\text{評価目標}}=2.98\text{mH}$ とする。インピーダンス $|Z|$ については、評価目標値は定めず、株式会社ウエノでの実製品形状評価を優先することとした。

※) 最終製品(ニチコン向け)のインダクタンス L 設計値は株式会社ウエノにおいて 17Ts 巻線時の数字だが、日本重化学工業(株)において試作ロの字型コアを評価する際のインダクタンス L は、巻線 20Ts 固定で測定すると取り決めた。そこで、任意巻数 $N(\text{Ts})$ 時のインダクタンス $L(N)$ をインダクタンス係数 A_L から計算する方法により評価目標値を定めた。

$$\text{インダクタンス公式より } L(N)=A_L \times N^2$$

$$\text{巻数 } 17\text{Ts} \text{ 製品の } L \text{ 設計値 } L_{\text{設計}}=2.152(\text{mH})=A_L(\text{mH}) \times (17(\text{Ts}))^2$$

$$\text{インダクタンス係数}(1\text{Ts} \text{ あたりのインダクタンス}) A_L=2.152/17^2=7.446 \times 10^{-3}(\text{mH})$$

$$20\text{Ts} \text{ で材料評価時の } L \text{ 目標値 } L_{\text{評価目標}}=7.22 \times 10^{-3} \times 20^2=2.98(\text{mH})$$

[実験方法]

試料: 使用温度範囲 $-40 \sim 140^\circ\text{C}$ でかつ透磁率 $\mu_i=7000$ を達成するために Mn-Zn フェライトの主成分を選定した。また機能性添加物の添加により透磁率が低下することを考慮し、 $\mu_i=8000 \sim 9000$ 材を主材の目標とした。

この主材に対し、機能性添加物として SiO_2 および CaO を添加し、その添加量に対する透磁率およびインピーダンスとの関係を確認した。

造粒: 主材に機能性添加物を添加し、純水で分散混合した後、バインダーを投入し、スプレードライヤーで乾燥し、流動性の良い顆粒を作成した。

(図①-2-1a 参照)

※精密なバインダー量調整が重要になるため、スプレードライヤーを用いた。

成型: 「油圧プレス機」でロの字用の成型金型に顆粒を充填し、成型密度が $3.0\text{g}/\text{cm}^3$ となるようプレス成型しグリーンコアを得た(図①-2-1b 参照)。

※「油圧プレス機」は、上下からの応力を均等とするフローティング機構の金型治具を用い、焼成歪みによる不良を低減させている。

焼成: グリーンコアを「コア焼成炉」にて本焼し、焼成コアを得た。

(図①-2-1c 参照)

※量産炉に近い雰囲気焼成炉を用い、高透磁率用の焼成プロファイルを実験炉から移管し調整した。

測定:焼成コアの外観検査、外形寸法と重量を測定した。

コアに 0.18mm φ 電線を用い 20Ts 巻線し、電磁気磁気特性を評価した。

周波数特性 測定器:インピーダンスアナライザ HP4194A

インダクタンス L_s (@100kHz, 0.1V)、インピーダンス $|Z|_{peak}$ (@0.1V)

温度特性 測定器:インピーダンスアナライザ HP4192A+恒温槽

インダクタンス L_s (@100kHz, 0.1V)、キュリー温度 T_c (150°C以下)

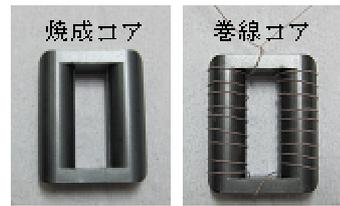
[実験に使用した設備と目的物]



図①-2-1a. スプレードライヤー



図①-2-1b. 油圧プレス機



図①-2-1c. コア焼成炉

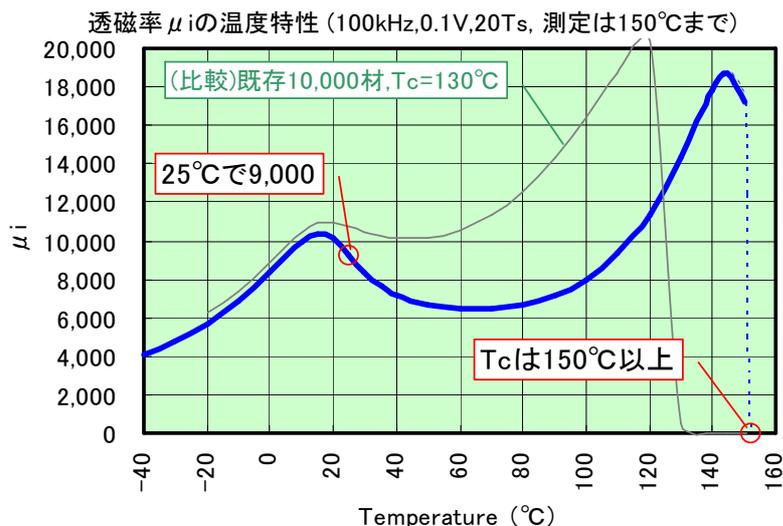
[実験結果]

・主材選定結果

既存材の知見を利用し、主成分 (Fe_2O_3 - MnO - ZnO) 組成を検討した結果、 ZnO =約 19mol%の組成において $\mu_i=9,000$ 、 $T_c=150^\circ C$ 以上が達成出来ることが判った (図①-2-1d 参照)。

この組成の主材を作成し、以後の実験に使用することとした。

以降において、主材を Z19 と呼称し、実験番号 R〇〇と組み合わせた枝番により、材料水準を Z19-R〇〇と表記する。



図①-2-1d. 主成分選定結果(キュリー温度)

・ 機能性添加物検討結果

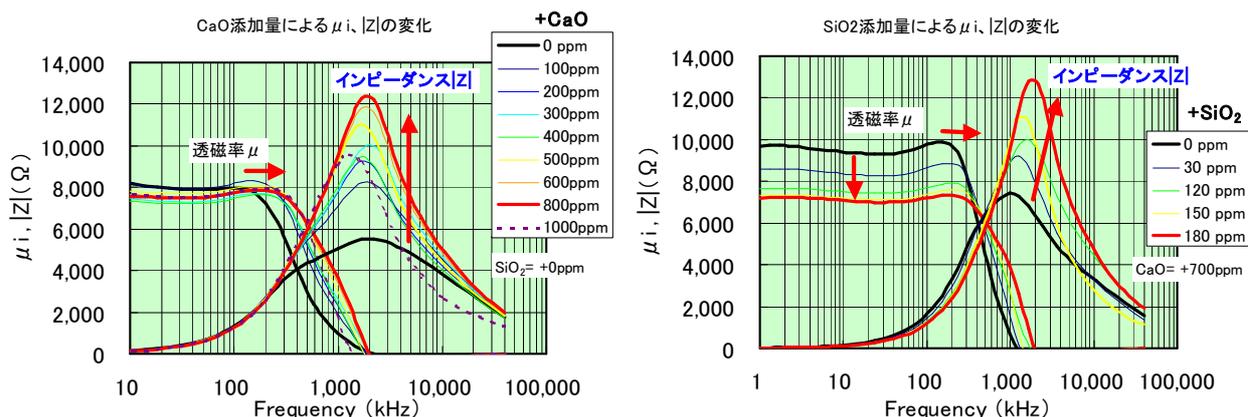
SiO₂および CaO 添加量について、透磁率 10,000 の主材によるマッピング実験を実施し SiO₂=100ppm 以上で Ca=300ppm 以上が高インピーダンスに適しているものと推測した。

表①-2-1e. 透磁率 10,000 材での機能性添加物 SiO₂、CaO 添加量と L、|Z| のマッピング実験結果

■ μ_i 100kHz		SiO ₂					
添加量		0	30	60	90	120	150
Ca	0	5672	4288	4260	4732	5572	7043
	50	10551					
	100	11788	11981	10871	10764	10360	
	150	12086					
	200	11863	10464	9907	9819	9193	
	250	11516					
	300	10733					8303
■ Z (Ω) 2MHz		SiO ₂					
添加量		0	30	60	90	120	150
Ca	0	3693	4048	4325	4615	4557	5419
	50	4998					
	100	5981	7339	8667	7969	8427	
	150	6560					
	200	7132	8297	8004	8596	9803	
	250	7442					
	300	7776					10028

前項で作成した Z19 主材における SiO₂, CaO 添加量の実験確認を行い、結果から SiO₂=100ppm で Ca=500ppm (CaO=+700ppm) の近傍が、高透磁率と高|Z|の両立に対して適していると判断した。

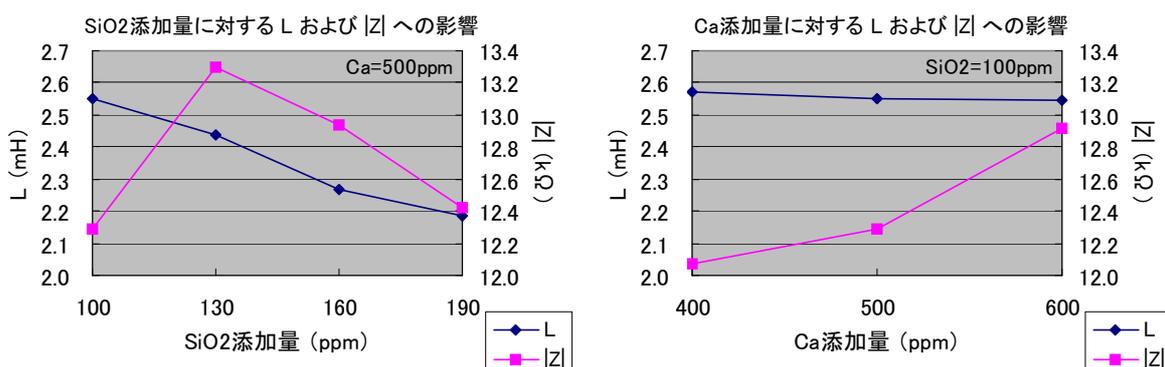
この時点では、実験炉、トロイダルリング形状での実験であった。



図①-2-1f. Z19 主材に SiO₂, CaO 添加したときの μ_i および $|Z|$ の変化

これに、他の機能性添加物 A を追加した微調整実験を行い、Z19 主材を用い SiO₂=100ppm・Ca=500ppm 添加等を適用した材料仕様 Z19-R30 を確立し、ロの字型コアの試作に使用することとした。

また、「コア焼成炉」設備導入後、ロの字形の試作条件において、Z19-R30 からのさらなる特性向上のために追加マッピング実験を行った。



図①-2-1g. 機能性添加物 SiO₂, CaO 添加量に対する L および $|Z|$ の変化 (添加物 A 有り)

SiO₂ 添加量増加(100→190ppm)は、L が大きく低下する傾向があり、 $|Z|$ は 130ppm にピークがあった。この範囲で、外観の異常はなかった。

CaO 添加量増加(400→600ppm)は、L は僅かに低下傾向か横ばい、インピーダンス $|Z|$ は増加傾向があった。外観の異常はなかった。

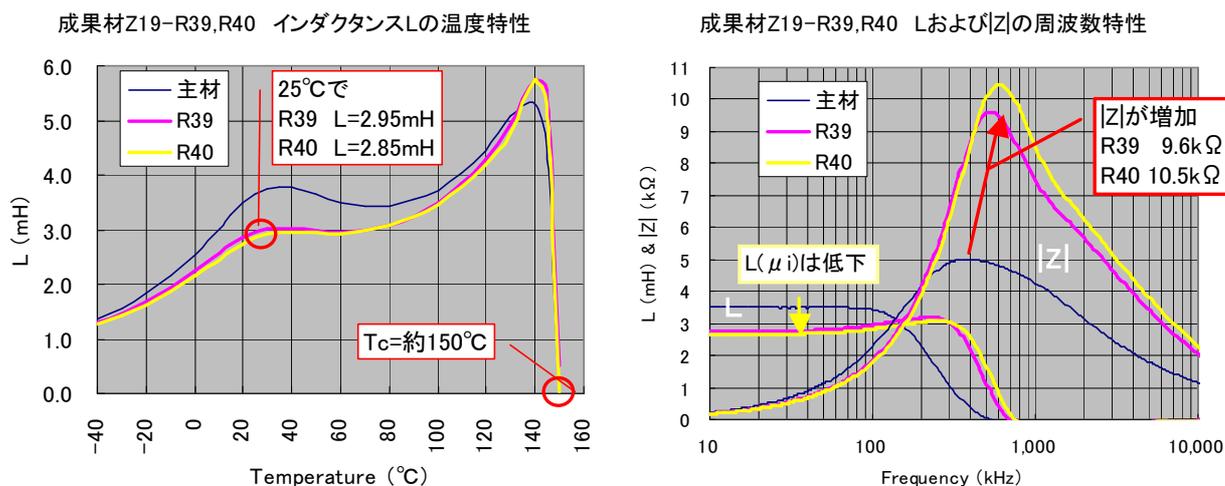
表①-2-1h. 機能性添加物 SiO₂, CaO 添加量と L および $|Z|$ の追加マッピング実験結果

L (mH)		Ca (ppm)			
目標 2.98mH		0	400	500	600
SiO ₂ (ppm)	0	3.11			
	100		2.57	2.55	2.55
	130			2.44	
	160			2.27	
	190			2.19	

$ Z $ (kΩ)		Ca (ppm)			
目標 10kΩ		0	400	500	600
SiO ₂ (ppm)	0	5.6			
	100		12.1	12.3	12.9
	130			13.3	
	160			12.9	
	190			12.4	

この結果から、コア焼成炉・ロの字型試作において L 目標 2.98mH を維持しつつ高 |Z| を得るためには、SiO₂=0~100ppm・Ca=100~600ppm の範囲内(表①-2-1h の黄色で示した範囲)がより適切になると推定した。

この推定を元に、後述する造粒技術および焼成技術の結果を適用した試作検討を実施し、L を優先した Z19-R39、|Z| を優先した Z19-R40 の 2 水準を、新たな材料仕様として確立した。ニチコン向けロの字型コア形状において、作成した試作コアの特性を、以下のグラフと表で示す。



図①-2-1i. 試作品キュリー温度特性結果及びL/|Z|周波数特性結果

表①-2-1j. 試作品評価結果まとめ

	寸法	外観	Tc (°C)	L (mH)	Z (kΩ)	評価
目標			≥140	2.98	高いこと	
Z19-R39	OK	OK	約 150	2.95	9.6	コアとしての目標値を十分達成
Z19-R40	OK	OK	約 150	2.83	10.5	コアとしての目標値を十分達成

①-2-2. 造粒技術

[研究目的]

フェライト材料は金型に流し込んでプレス成型する粉末であるため、水系のスラリーにバインダーを添加し、スプレードライヤーにて乾燥させて流動性の良い顆粒にして用いる。この顆粒性状とバインダーの粘性による成型体強度は、成型体の破損や焼成時のクラック発生、コアの電磁気特性という後工程の全てへ大きな影響を及ぼすため、後工程が変わる都度最適化していく必要がある。

そこで、大型で破損しやすいという問題が生じた、ロの字型コア試作に適した造粒条件の検討として、バインダー種類と添加量を変化させた造粒実験を行い、顆粒性状、生コアの成型性、焼成異常の発現性、L および |Z| 特性について評価する。

[実験方法]

試料:フェライト粉末として Z19-R39 の元粉を使用。

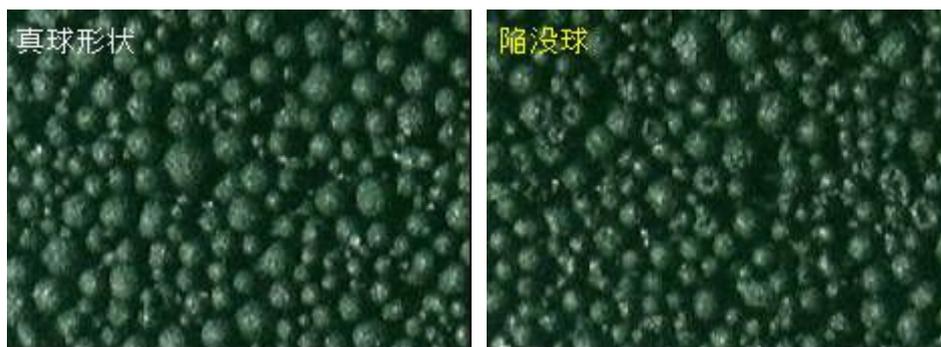
造粒:バインダーは実績のあるポリビニルアルコール系の品種PVA205 および粘性の高い品種 PVA217 を使用し、それぞれ 1.0, 1.5, 2.0%添加したスラリーを、スプレードライヤーで乾燥し顆粒とした。

※この水準の選定は、粘性が高いほど強度が上がると予想されるものの、現行製品では 1.0%以下では成型強度が確保出来ず、2.0%以上では金型への付着が著しく使用出来ない知見があるため。また、スプレードライヤーを使わないトロイダル形状の研究開発では PVA217 を 1.5%使用しており、量産品種では PVA205 を 1.2~1.5%添加の製品が多い。

成型・焼成・測定:①-2-1 材料開発と同様に、成型、焼成、測定を行った

[実験結果]

バインダー量が 2.0%では顆粒が陥没していた。



図①-2-2a. スプレー顆粒

また、粘性の高いバインダーでも、添加量が増加すると成型後のグリーンコアの表面にクラックが発生しやすいという現象が見られた (表①-2-2b 参照)。同時に、焼成クラックも発生しやすく、焼成コアの特性も低下した。

結果、今回の口の字型コア試作用途では、バインダー量 1.0%が適切であり、この条件で試作用顆粒を作成していくこととした。

表①-2-2b. バインダー条件による影響

バインダー条件	粒度分布 (%)							圧縮密度 (g/cm ³)	嵩密度 (g/cm ³)	水分 (%)	顆粒形状	成型性	焼成コア	L (mH)	Z (kΩ)
	+500	+250	+149	+106	+75	+45	-45								
PVA205 1.0%	0.0	0.1	0.2	3.4	39.0	29.6	27.7	2.94	1.41	0.14	真球	OK	OK	Down 2.53	Down 10.1
PVA205 1.5%	0.0	0.1	0.5	4.7	30.1	37.3	27.3	2.91	1.41	0.11	真球	表面クラック発生	表面クラック発生	↓ 2.38	↓ 9.6
PVA205 2.0%	0.0	0.1	0.7	6.8	30.8	36.5	25.1	2.91	1.41	0.12	一部陥没球	表面クラック発生	表面クラック発生	↓ 2.34	↓ 9.1
PVA217 1.0%	0.0	0.2	1.5	5.8	28.1	40.4	24.0	2.94	1.40	0.11	真球	OK	OK	Down 2.54	Down 10.0
PVA217 1.5%	0.0	0.3	1.7	6.4	31.5	38.5	21.6	2.90	1.37	0.12	真球	表面クラック発生	表面クラック発生	↓ 2.46	↓ 9.7
PVA217 2.0%	0.0	0.4	2.5	10.3	31.9	36.4	18.5	2.89	1.37	0.13	陥没球	表面クラック発生	表面クラック発生	↓ 2.40	↓ 9.1

①-2-3. 焼成技術（日本重化学工業株式会社）

[研究目的]

Mn-Zn フェライトは、空気と窒素ガスの流量プログラムでつくる炉内雰囲気酸素分圧を、刻々の温度に連動した狭い範囲内に制御しなければ、高い磁気特性を得ることが出来ない。これは、Fe 過剰の主成分組成 ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MnO-ZnO}$) において、スピネル単相を維持し、 Fe^{2+} 生成量によるスピン磁気モーメント効果の高い範囲の相平衡を保ったままで、焼結を完了させねばならないことによる。

焼成工程では相変化の他にも、1次粒子(顆粒内部の1~2 μm 大のフェライト仮焼粉)の結合反応による、結晶粒成長および粒界成長と緻密化、ガス放出に伴う気孔成長などが起こるが、高透磁率かつ高インピーダンスを得ようとする場合には、これらの結晶構造の制御もおろそかには出来ない。この制御は、温度プログラムを調整することによって実現される。

そこで、高透磁率、高インピーダンスを評価指標として、温度および雰囲気の焼成条件について検討する。

また、本研究で要求されるような高特性フェライトコアは、小型実験炉焼成では作成出来ても量産炉焼成では実現出来ない懸念が大きい。そのため、小型実験炉と量産炉の中間規模となる「コア焼成炉」設備を導入し、焼成プログラムのスケールアップ移管を行い、この炉における焼成条件を検討する。

加えて、埋め粉およびフェライト素材の焼成治具による特性向上が「コア焼成炉」規模で可能なのか、また量産時にそれがコスト的に適用可能なのかを、情報収集および実験によって検討する。

①-2-3-1. 焼成技術（日本重化学工業株式会社）

中国・台湾・国内のコアメーカーおよび焼成炉メーカーの視察と情報収集から、高特性を指向するコアメーカーの量産炉は4パイル(製品を載せた焼成治具の積み重ねが4列)以上であり、構造や焼成技術についての知見も得ることが出来た。この知見を適用し、最も小型で構造が同等である1パイルの「コア焼成炉」を導入した(図①-2-3a 参照)。量産において必要となる、炉内物キャスター引き出し等の機構は省略し、焼成条件の研究および試作のための仕様とした。

[実験方法]

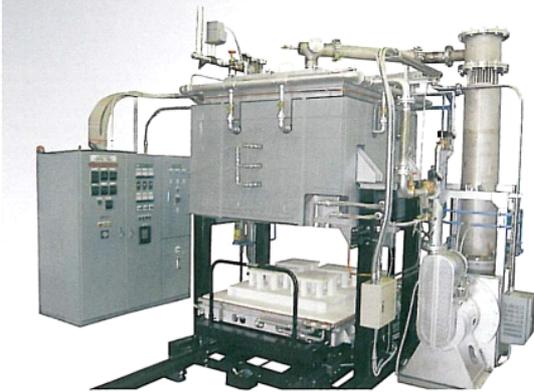
成型: ロの字用の成型金型に顆粒を充填し、成型密度が 3.0g/cm^3 となるようプレス成型しグリーンコアを得た。

焼成: 小型実験炉で最適化したプログラムを「A」条件としてコア焼成炉へ移管し、炉の違いによる影響を除くため、温度および雰囲気の調整検討を行った。

測定: ①-2-1 材料開発と同様に測定を行った

量産炉 ノリタケ(旧 東芝セラミックスファーンネス)カタログ

■ 角型台車式バッチ炉 Square Car Bottom Batch Kiln



- 汎用性が最も高く、量産性の高い生産用バッチ炉です。電子部品や電子材料の中量生産に対応します。
- ・ Batch Kiln with multi-usability and high productivity which is suitable for medium-scale production of electronic components and materials.

最高温度 Maximum temperature	: 1400℃
雰囲気 Atmosphere	: Air, N ₂ , N ₂ +H ₂ , O ₂
熱源 Heat source	: 電気 Electricity



■ 有効寸法 Effective demension

タイプ Type	サイズ Size	
小 Small	1 pile	300W × 300L × 300H (mm)
中 Medium	4 piles	600W × 600L × 600H (mm)
大 Large	8 piles	600W × 1200L × 600H (mm)

←導入したコア焼成炉(準量産炉) 1パイル(350×350×450)

図①-2-3a. 量産炉と、導入した「コア焼成炉」の概要

[実験結果]

焼成プログラムには、大きく分けて昇温、保持、降温の3段階の工程がある。

昇温工程 : 脱バインダーとフェライト化反応の開始

保持工程 : フェライト化反応と結晶成長の促進

降温工程 : 温度と雰囲気による相平衡を保持した状態で温度を下げる

プログラムAを基に各工程の温度または酸素濃度について、表のように条件変更したときの焼成コアの特性を測定したところ、プログラムCの条件においてLおよび|Z|の高い特性が得られた。

表①-2-3b. 焼成プログラムの検討結果

焼成プログラム	昇温工程	保持工程	降温工程	L (mH)	Z (kΩ)
A	A	A	A	2.59	12.0
B	A	30℃温度低下	A	2.17	10.7
C	A	保持時間延長	A	2.76	11.2
D	酸素濃度 UP	保持時間延長	A	2.15	12.5
E	A	保持時間延長 酸素濃度 DOWN	A	2.62	11.8
F	A	保持時間延長	酸素濃度 DOWN	2.22	11.1

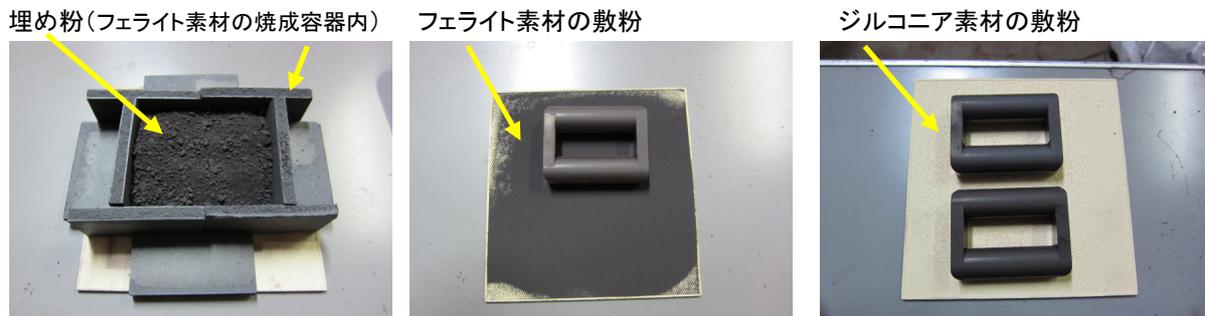
①-2-3-2. 焼成治具・焼成方法の検討

実験炉による予備テスト結果と、中国・台湾・国内のコアメーカーおよび焼成炉メーカーでの視察とテスト結果とから、フェライト材料を加工した焼成治具および埋め粉の利用は、特性の大幅向上を目的とした場合、向上率は最大 30%程度だが外観不良が出やすく不安定である上に、焼成治具が炉内を 30~50%程度占有し費用対効果が悪く、量産への適用は現実的ではないとの判断に至った。

表①-2-3c. コアメーカー視察および情報収集の結果

コアメーカー	焼成治具の検討実績	検討結果
A社(中国)	・埋め粉	コストの問題で実現しなかった
B社(中国)	・埋め粉 ・フェライト素材の焼成板	コストの問題で実現しなかった
C社(国内)	・フェライト素材の焼成容器	実証試験まで進めたが、コストの問題で量産は実現しなかった

情報にあったフェライト素材の焼成板または容器については、コスト高にはなるが、焼成の難しい口の字型コアの場合には適用出来る可能性があり、導入した「コア焼成炉」による実験を行った。



図①-2-3d. 作成および実験した焼成治具（焼成板は図①-2-3g 参照）

表①-2-3e. 「コア焼成炉」における焼成治具使用の実験結果

焼成治具	目的	L (mH)	Z (kΩ)
フェライト素材の埋め粉	温度分布を均一化する 焼成物からの ZnO 揮発を抑える	2.1	10.8
フェライト素材の敷粉	底面の摩擦を低減する 焼成物からの ZnO 揮発を抑える 底面へのガスの流路を確保する	3.0	5.5
ジルコニア素材の敷粉(ビーズ)	底面の摩擦を低減する 底面へのガスの流路を確保する	2.2	11.0
フェライト素材の焼成板	膨張収縮をコアと敷板で同期させる 焼成物からの ZnO 揮発を抑える	2.2	10.7

実験結果において、インダクタンス L とインピーダンス $|Z|$ の一方には特性向上が見られるが、もう一方の特性は大きく低下していた。焼成条件の調整を加えることで両立出来る可能性はあると考えられるが、膨大な実験工数が必要となるため今後の課題としてこの実験を終了した。

その後、コア焼成炉を用いた口の字型コアの試作段階において、焼結コアの外観不良の発生が多いことが問題として浮上した。



図①-2-3f. 焼成治具がないときの外観不良コアと合格品

口の字型のような非常に大型のコアを多量に焼成する場合において問題となる、膨張収縮による歪みと化学反応ガスの吸放出による歪みとを、製品と同じ素材の治具を使用することで低減することも可能ではないかとの意見があり、コア焼成炉での口の字型コア試作において実験検討を実施した。また、口の字型コアを炉内へ装荷する置き方についても同様に検討を実施した。

[実験方法]

試料: Z19-R30 試作顆粒。

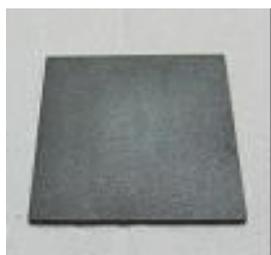
成型: 口の字用の成型金型に顆粒を充填し、成型密度が $3.0\text{g}/\text{cm}^3$ となるようプレス成型しグリーンコアを得た。

焼成: コア焼成炉においてプロファイルCで焼成。

焼成治具: Z19 主材のフェライト粉を $60 \times 60\text{mm}$ 平板金型にて成型し作製。

置き方: グリーンコアの設置を平、縦、横置きで比較を行った。

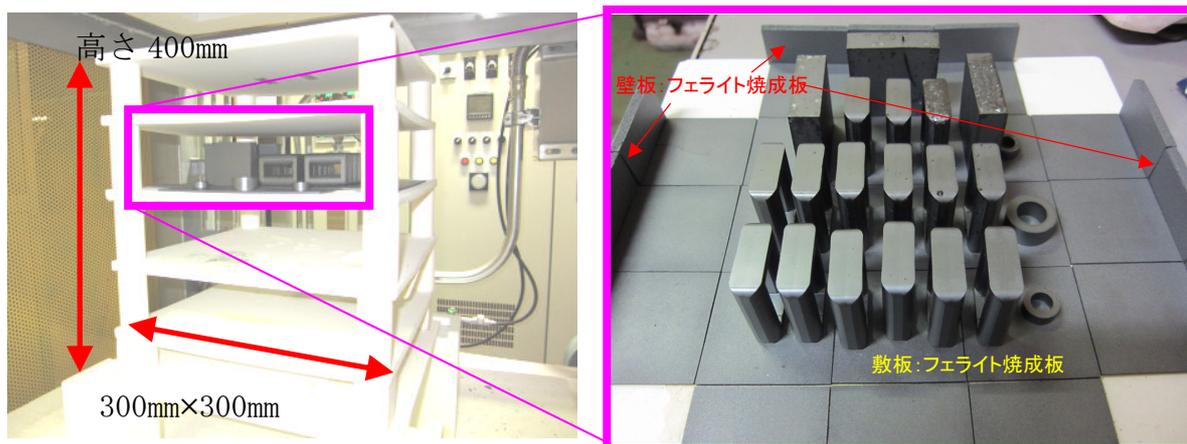
測定: ①-2-1 材料開発と同様に測定を行った。



図①-2-3g. 焼成治具



図①-2-3h. グリーンコアの設置



5 段で 1 パイルの 1 段分だけを使用した実験。

図①-2-3i. 試作した焼成治具をコア焼成炉に使用した炉内状況

[実験結果]

横置きはコアの設置安定性がないため、コア同士を密着して設置する必要があるが、量産には適さない。バインダーの脱離が悪くクラックの発生を起こしていた。

平置きの方が外観検査の合格率と特性は良い傾向にあるが、生産性を考慮すると縦置きの方が有利である。

焼成治具を使用することで、粗大結晶粒、変形の発生を抑えることが出来た。

結果、以下の事項を明らかにした。

- ・ 焼成を安定化させるための焼成治具が開発出来た。
- ・ 焼成治具を使用することで、粗大結晶粒、変形の発生が抑えられ、品質が安定することを確認した。
- ・ グリーンコアの置き方は、縦置きとし、隙間を数 mm とすることで効率良く生産することが可能となる。

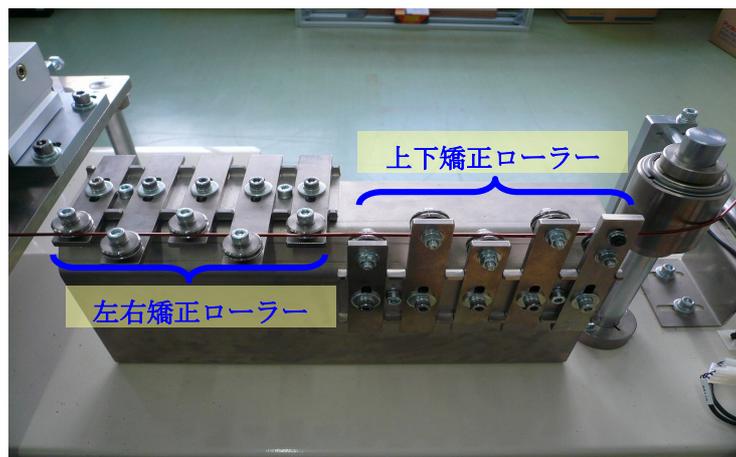
②. 高速自動巻線システムの研究開発(株式会社グローバルマシーン)

②-1. コイリング技術の開発

②-1-1. 密着巻き、整列巻きの実現

②-1-1-1. 電線の巻癖矯正

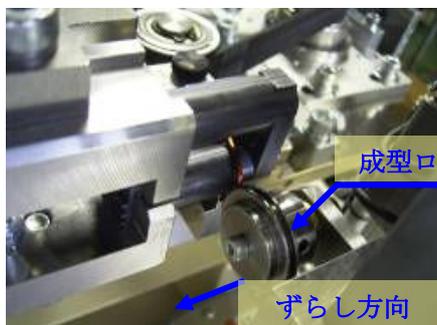
ポビンに巻かれた電線は巻癖がついている為、密着、整列巻きが出来なく、また、ノズルへの引っ掛かり、過剰なストレス等、その後の工程に支障をきたすため、出来る限り直線に矯正する必要がある。ポビンから送り出された後に、上下と左右方向からローラー(図②-1-1a 参照)で矯正することにより、電線を直線の状態することができた。



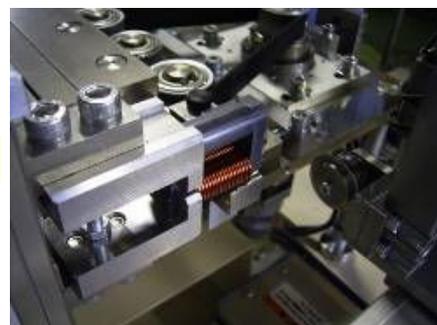
図②-1-1a. 電線矯正(上下左右)ローラー

②-1-1-2. 成型ローラーの位置検討

平角電線は電線搬送部からノズルを通して成型ローラーに押し当てる事により巻癖の R が付く。その後、継続的に電線を送り込むと、最初の R と同じ軌跡で巻き線される。そのため、巻き始め 270 度まで密着、整列巻きの軌跡を実現させ、整列した密着巻きが出来る方法を探った。結果、ノズル及び巻き始め位置に対し、成型ローラーを 0.5mm 程度内側方向にずらす事により密着巻きを実現。その後定位置で適切にガイドすることで、密着、整列巻きが実現出来た。



図②-1-1b. 巻き始め 270 度巻いた状態
成型ローラーを 0.5mm 程度ずらすことで、密着整列巻きの軌跡を描く



図②-1-1c. 巻き終わり状態
巻き始め 270 度の密着、整列巻きの軌跡に沿って巻かれる

②-1-1-3. ノズルの開発

ノズルの角穴の肉厚が厚いと平角線の送りは、肉厚分だけ広がってしまい整列、密着巻きを実現出来ない為、薄肉が望ましい。しかし、加工容易な 2 部品構成とした場合、薄肉の部分が強度不足になってしまい、ノズルが変形し不具合が生ずる。その為、薄肉のままでも強度を保てる様、放電加工機(図②-1-1f)で角穴のあいたノズルを製作した。結果、電線の安定した軌道を確保出来、連続稼動における安定性も確保出来た。



図②-1-1d. 2 部品構成ノズル

青矢印部分の薄肉箇所が巻き線時のテンションにより開いてしまい、密着、整列巻きが出来ない。また、連続稼動時の経時的な形状変化により、安定した巻き線が不可能となる。

図②-1-1e. 一体型ノズル

放電加工機により一体型のノズルを開発。これにより、薄肉加工、且つ高強度のノズルが実現でき、結果、連続稼動でも安定した密着、整列巻きを実現できた。



図②-1-1f. 放電加工機

②-1-1-4. 成型ローラーの開発

密着、整列巻きの実現のためには成形ローラーの形状、寸法等が重要になってくる。そのため、以下の 3 種類の仕様で実験を行った。

- ①電線溝あり一体型成型ローラー

電線のガイド溝を一体加工したローラー

②電線溝なしローラー

電線のガイド溝のないカムフォロア形状

③電線溝あり分割成型ローラー

①の電線溝部分で分割出来る 2 部品構成ローラー

結果、③の分割成型ローラーの構造が最も良好であった。(表②-1-1e 参照)
本実験の結果により、電線溝あり分割成型ローラー型を採用、さらに密着、
整列巻きを実現させるため、電線用溝の壁の薄肉化を図った。

尚、成型ローラーのみで密着、整列巻きを実現出来たため、補助ローラーは
開発不要となった。

表②-1-1e. 成型ローラー構造別結果

構造	電線 ガイド性	調整性	保守、加工性 (磨き)
電線溝あり 一体成型ローラー	○	× 調整出来ず	× 磨けない
電線溝なし 一体成型ローラー	× 密着、整列巻き不可	× 調整出来ず	○
電線溝あり 分割成型ローラー	○	○	○ ばらすことで磨ける



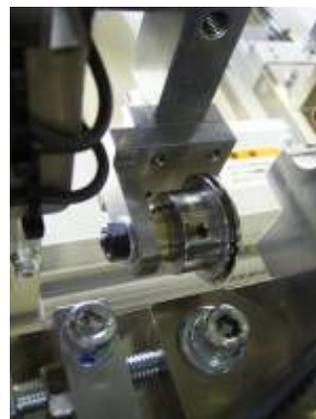
図②-1-1g. 電線溝あり一体成型ローラー

溝寸法が決まっているため、
拡張性がない。また、溝部分
の電線傷防止用の磨き加工
が不可である。



図②-1-1h. 電線溝なし一体成型ローラー

電線のガイドがないため、密
着、整列巻きを実現出来ず。

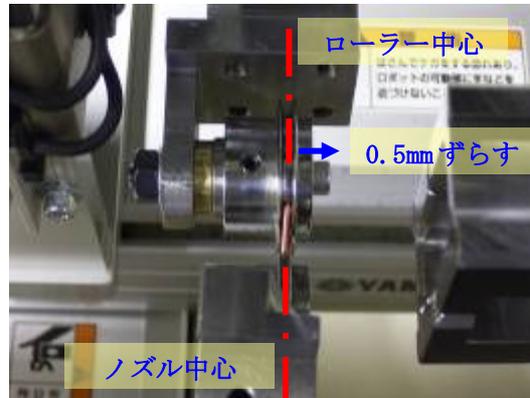


図②-1-1i. 電線溝あり分割成型ローラー

溝寸法を可変出来るため拡張
性がある。また、ばらせる
ため磨き加工も容易。

②-1-1-5. 制御技術の確立

ノズルと、成型ローラーの位置関係について、その位置を可変して実験を行った結果、0.5mm 中心をずらしたが位置が、最も密着、整列巻きを実現出来ることを確認した。そのため、NC 制御により、0.5mm の位置を確実に行うようにプログラミングを実施した。



図②-1-1j. ノズルと成型ローラーの位置

②-1-2. 巻線工数 1 / 30 の実現

巻線に要する時間は、電線の送り速度で決定する。よって、スピードを上げることで巻線時間が短くなる。しかしながら、極端に早くすると巻線の乱れによる密着、整列巻きが出来なくなり、また、電線送りのベルトのスリップにより巻き数違いが生じてしまう。そのため、最適な送り速度を探った。

結果、速度 200 mm/sec、巻時間は約 8 秒が品質を保ち、最も早く巻けることを確認。目標値 10 秒を実現できた。

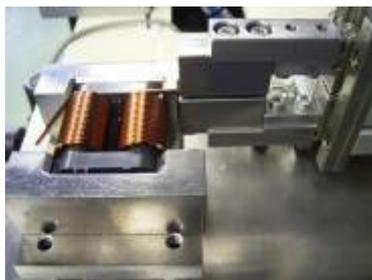
スリップによる巻き数違いについては、モーターによる電線の送り量と、完成品を確認した結果、若干のスリップは確認されたが、再現性が高いため、送り量による管理で問題がないことを確認した。

但し、経時的なベルトの劣化等を考えた場合、他のセンシング方法や、ベルトの最適交換時期等の検討が必要と考えるため、継続検討事項とする。

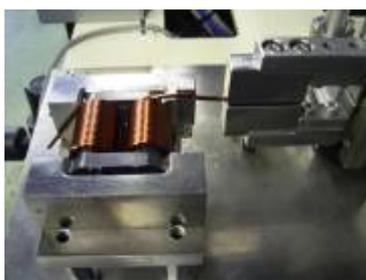
②-2. 先端末端処理技術の確立

巻き上がりの電線の末端をエアチャックでつかみ、引っ張る事で直線にすることが出来た。また、平角線をつかむフィンガーは、ガイド溝を設けることで、位置決めを確実に出来、常に同じ姿勢で移動出来ることを確認した。

また、フィンガーに細かいローレットを設けることで、滑ることなく引っ張ることができた。



図②-1-1k. 電線保持状態
電線をフィンガーで保持



図②-1-1l. 引っ張り
フィンガーでつかんだ電線をエアシリンダで引っ張る



図②-1-1m. 完成形
直線状態の実現を確認

今回は巻き線工程と別に実験、検証を行った。今後、自動化に向け、この基礎実験で得た結果を応用させ、インラインでの端末引き出しの為の技術開発が必要である。その際、フィンガーの加工等は放電加工機等を使い再現性のある構造にする必要がある。

③. 事業化に関する研究 (株式会社ウエノ)

③-1. 顧客への試作品評価

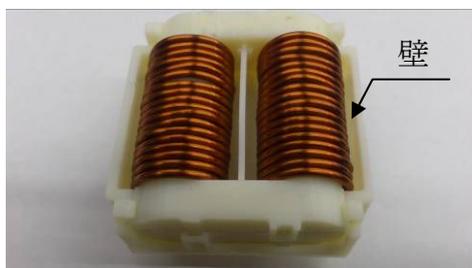
③-1-1. 形状サンプル、シミュレーションデータ提出

ニチコン及び豊田自動織機へ形状(コアなし)サンプル(図③-1-1a 参照)及びシミュレーションデータを提出、以下のアドバイスを戴いた。

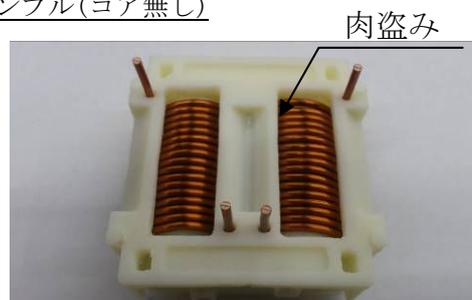
		コメント及びアドバイス
	全体	<p>ロの字コアのコイルは他メーカーでもあるが、他メーカーが分割コアであるのに対し、一体型で実現出来ることで電気的特性の向上、品質の安定化等、優位性を期待出来る。</p> <p>特にインダクタンスを落とさず、高周波側のインピーダンスを向上出来ることに対し魅力を感じる。</p> <p>(現行はトロイダルフェライトコアを使用しているため、高周波側の特性が劣るとの事)</p> <p>今までキュリー温度が問題で$\mu 5,500$を使用していたが、$\mu 7,000$で140°Cをクリア出来ることについて、本開発品のみならず、現行トロイダルにも適用出来、魅力を感じる。</p>
要望	機械的特性	<p>小型軽量化のため台座の壁をなくし、コイル外形と台座外形ほぼ同寸法にして欲しい。(図①-1-1b 参照)</p> <p>また、軽量化のため、台座の肉盗み箇所を極力増やして欲しい。(図①-1-1c 参照)</p>
	電気的特性	<p>・現行品及び現在開発中の製品のスペック</p> <p>定格電流:16A</p> <p>インダクタンス:3.3mH(Min)</p> <p>温度上昇:40deg 以下</p>



図③-1-1a. 形状サンプル(コア無し)



図③-1-1b. 台座壁について



図③-1-1c. 台座肉盗みについて

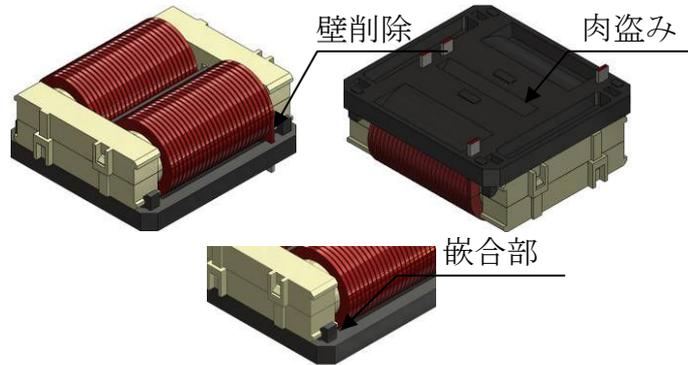
・アドバイスに対する対応策

台座壁について： 初回設計仕様(ニチコン-日産向け)では台座-コイル Assyの嵌合を上部に設けていたが、下部に移動し壁を削除。
(図③-1-1d 参照)

肉盗みについて： 可能な限り肉盗みを追加。(図③-1-1d 参照)

スペックについて： 16A/3.3mH(Min)で開発を実施。

①. 磁性特性の向上に関する研究開発 参照



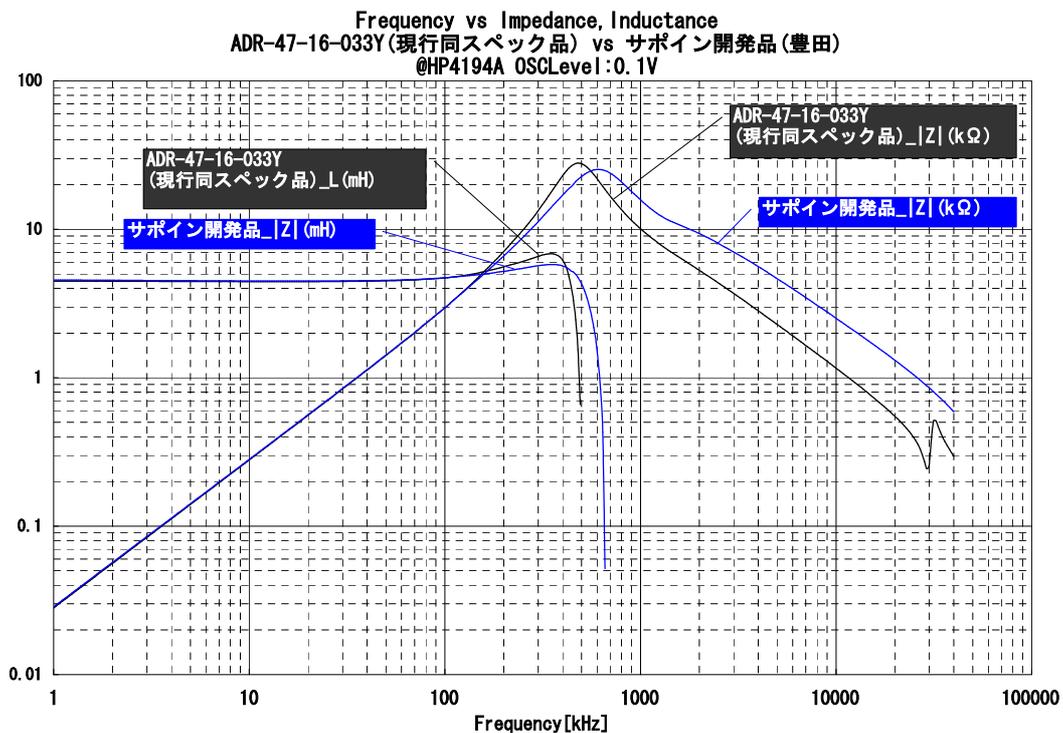
図③-1-1d. アドバイスに対する対応策

③-1-2. 試作品提出

①-2 で開発したフェライトと①-1-6 で起工したカバーにて試作品を製作し提出、現行品に実装し評価を戴いた。結果、静特性 OK。150kHz 以上のノイズ減衰特性が現行品より優れるとの評価を戴いた。



図③-1-2a. 試作品



図③-1-2b. インダクタンス/インピーダンス vs 周波数

③-2. 事業化に向けての市場調査

以下自動車業界及び一般家電メーカー(川中/川下企業)訪問等行い、現在の状況、ニーズ、トレンド等確認を行なった。

客先名	現在の状況、ニーズ、トレンド
A社(車載川中企業)	電気自動車向けの充電ユニットを量産中。現在はEUメーカー向けの案件について、現在設計開発中。 EUメーカー向けのスペックについてヒアリングを行なったところ、20A/1.0mHでトロイダルフェライトを検討しているとのこと。本研究での開発品ではスペックは満足出来るが、スペックに対し寸法が大きくなってしまったため、今後の開発課題とする。
B社(車載川中企業)	PHV用充電器を生産、販売しており、次期モデルの開発にも着手している。 現行モデルのフィルタ構成としては低周波側ノイズ対策として”ナノ結晶コア”を使用、高周波側のノイズ対策としてトロイダルフェライトコアの2段フィルタ構成を組んでいると見られる。
C社(車載川中企業)	電気自動車用充電回路ユニット量産予定。 現在のフィルタ構成はB社と同様2段フィルタ構成を組んでいると見られ、要求されるスペックも同様と見られる。
D社(車載川中企業)	主にEU向けの開発に着手。現在考えているスペックとしてはB社とほぼ同等となっている。
E社(家電川下企業)	アプリケーション:エアコン エコポイント終了の反動、節電等でエアコン需要が冷え込んでいる中で、原価低減と今後の銅の高騰に対する対処として”アルミ電線”を検討中で、コモンモードラインフィルタ以外の巻線類(トランス、モーター)では一部使用を開始している。 コモンモードラインフィルタにおいては、現在トロイダルが主流のため、巻線時のテンションやその管理の困難さからまだ実用化はされていない。
F社(家電川下企業)	アプリケーション:太陽光発電 ナノ結晶コアの採用が多くなってきている。価格的に見ればフェライトコアを使用したい意向はあるが、低域のノイズ減衰、温度特性等より使用せざるを得ない状況とのこと。

第3章 全体総括

3-1. 研究開発成果

本事業は、磁性特性の向上に関する研究及び高速自動巻線システムの研究の2つの研究開発テーマと事業化へ向けての試作品評価・市場調査の3つの研究テーマで構成されている。全体として見れば当初の目標をほぼ達成することができた。

以下各研究テーマ毎の研究成果のまとめである。

磁性特性の向上に関する研究では、小型軽量化及び高効率化に資するフェライトコア及び製品の設計開発と高透磁率、高インピーダンス、高キュリー温度フェライトコアの研究開発を行ってきたが、目標とする透磁率7,000とキュリー温度140度以上を実現出来た。中でもインピーダンスにおいては、高周波側の大幅な向上といった研究成果が得られた。これは一般的に適用されるノイズ規格VCCI/FCC電源ポート妨害波の周波数帯150kHz～30MHz帯の全域で、現行品を上回るノイズ減衰特性が得られることとなる。体積においては目標とする40%以上の低減を実現出来た。製品重量においては目標とする10%の低減は実現出来なかったが、個々の部位を解析した結果、フェライト体積の増加が支配的であることが分かった。これは、インダクタンス、インピーダンス等電気的特性を優先したことに起因するが、本研究の成果である高透磁率、高インピーダンス、高キュリー温度フェライトコアの開発技術を更に高めることで実現出来る可能性があるため今後の課題とする。その他、重量低減を図る技術開発の中で、電線重量10%低減を実現出来た。これは、フェライトコア、カバー、巻線の形状、構造による成果であり、原価低減に大きく寄与するものである。

高速自動巻線システムの研究では、コイルリング技術の開発と先端末端処理技術の確立をテーマに研究開発を行ってきたが、整列、密着巻きを実現する技術を確認出来、目標とする現行トロイダル品の巻線工数1/30化を実現出来た。これは、短納期化、低コスト化に大きく寄与するものである。また、先端末端処理技術に関しても、実装リード端子形成の基礎技術を開発出来、今後の量産機開発へ反映出来る結果を得られた。

全体を通しての結果として、低コスト、小型軽量で高効率コモンモードラインフィルタの生産技術が確立出来、川下企業が望むニーズ全てにおいて、効果的な技術が開発できた。

3-2. 今後の課題及び事業化展開

3-2-1. 今後の課題

小型軽量化及び高効率化に資するフェライトコア及び製品の設計開発と高透磁率、高インピーダンス、高キュリー温度フェライトコアの研究開発において実現出来なかった製品重量10%低減を実現するため、本研究で得られた粉末冶金技術を高め、

フェライトコアの更なる高透磁率化、高キュリー温度化を図る。

高速自動巻線システムの研究においては、今回得られた基礎技術を高め、高品質で安定量産できる量産技術の開発を図る。

事業化に関する研究では、ナノ結晶コアとフェライトコアの2段フィルタ構成がトレンドであることが分かった。これは、低周波側のノイズを減衰させるため、フェライトコアの5~10倍の透磁率を有するナノ結晶コアを使用し、高周波側のノイズに対しては、フェライトコアで減衰させる構成であり、全周波数帯におけるノイズが厳しくなっていることを意味している。これに対し、本研究成果品のメリットである高周波特性を活かし、フェライトコアの更なる高透磁率化、高キュリー温度化を図り、これに供することで代替の可能性を探っていく。

3-2-2. 事業化展開

各川中企業で、そのアプリケーションや回路構成等の理由で要求するスペックが様々な中、現在交渉を進めている豊田自動織機に対し、本開発品の採用を目指し取り組んでいく。それと同時進行で、他川中企業への接触を図り、最終的にはEV/PHVのコモンモードラインフィルタ全てをこの製品への置き換えを進め、自動車業界へ好影響を与えていく。

また、電子機器業界全体としても同様のニーズを抱えていることは明らかであり、その中でも今後の成長市場である太陽光発電、風力発電等、エコ、グリーン市場への展開も進めていく。