

平成２３年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ナノフェライト粒子の量産製造技術の開発と応用展開」

研究開発等成果報告書

平成２４年　３月

委託者　関東経済産業局

委託先　財団法人さいたま市産業創造財団

目 次

第 1 章 研究開発の概要	1
1.1 研究開発の背景	1
1.2 研究目的及び目標	1
1.3 研究体制（プロジェクトの管理・運営、研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	4
1.4 成果概要	12
1.5 当該研究開発の連絡窓口	14
第 2 章 本論	15
2.1 ナノフェライト粒子の分散技術の開発による磁性シート成形法の確立と電磁波吸特性評価	15
2.1.1 磁性シート成形技術の確立と特性評価	15
2.1.1.a 超音波噴霧マイクロ波・抵抗加熱複合法によるナノ Mn-Zn フェライト粒子の量産試作	15
2.1.1.b ナノ Mn-Zn フェライト粒子を用いる磁性シートを活用したノイズ対策ケーブルの試作	16
2.2 ナノフェライト粒子を出発原料とした焼結体製造技術の確立とノイズ対策デバイスへの応用	18
2.2.1 チップインダクタの製造技術の確立	18
2.2.1.a 積層チップパワーインダクタに適用できるナノフェライト粒子の組成と磁気特性の確立	18
2.2.1.b ナノフェライト粒子に適合する高分子化合物バインダ及び銀導体粉末の選定	18
2.2.1.c 焼成など製造プロセスの検討	
2.2.2 高周波用アンテナ材の製造技術の確立	20

第1章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景

電子機器の小型化に伴い高密度実装が求められるようになり、表面実装部品（SMD：Surface Mount Device）が生まれた。SMD 技術は電子機器をさらに小型・薄型・軽量化できるため、電子部品の SMD 化は急速に拡大した。インダクタ部品においても SMD 化が進み、その中でも積層チップインダクタの SMD 化は顕著であった。



積層チップインダクタ（図 1.1.1.1）は、「巻かないコイル」であり、フェライトと電極を交互に積層してらせん状のコイルを形成するもので、導体にリード線はなく、銀電極膜はフェライトで覆われている。そのため密着性が良くなり、小型であるが大きなインダクタンス値を得ることができる。

図 1.1.1.1 積層チップインダクタ

この積層チップインダクタの形状は、最初に 3216 (3.2x1.6mm)、その後 2012 (2.0x1.25mm)、1608 (1.6x0.8mm) になり、現在は 0402 (0.4x0.2mm) まで製品化されている。このように積層チップインダクタは小型・薄型化への対応は容易であるが、導体に流せる定格電流が小さいこと、及び機械的強度に弱いという欠点も併せ持つ。

しかし、携帯電話などの情報処理の高速化、ディスプレイの大型化、カメラ内蔵等の高機能化により消費電力がますます増加しており、高効率な電力変換を可能にする高性能なパワーインダクタが必要とされている。このようなデバイスに応用するために積層チップパワーインダクタの高機能化の研究開発が必要とされている。

また、高密度実装化の進展に伴い機器内部及び外部からの電磁波干渉により高周波ノイズの問題が発生することから、ノイズ対策部品の需要は高い。特に自動車は通信機器の高機能化によって高周波ノイズ対策の重要性がさらに高まり、安全、高信頼性などを備えた各種ノイズ対策部品が搭載されるようになっている。

さらに、携帯電話に代表されるモバイル機器内部のノイズ抑制や電磁波吸収、及び RFID（電波を利用した認証）に利用されるフレキシブル電磁波吸収シートは、需要が急速に高まると予測されているが、高周波帯の電磁波ノイズを吸収できるものは少ない。

この状況の中で、ナノサイズの粒径を有する磁性（フェライト）粒子を用いると、高周波ノイズの抑制機能が向上するのでナノフェライト粒子への期待が高まっている。

しかしながら、量産可能なナノフェライト粒子の製造技術、及びこの粒子を用いたフレキシブル電磁波吸収シートの基盤技術は開発されていない。また、同様にナノフェライト粒子を用いたチップインダクタ及び高周波用アンテナ材も開発が進んでいない。

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業において「ナノフェライト粒子」量産試作機を設計・製作し、月産 3～4kg のナノフェライト粉末（図 1.1.1.2）を川下工程に供給できるようになった。

平成 22 年度は、「ナノフェライト粒子の量産製造技術課題」に取り組み、20～50nm 径の磁気特性も十分なナノ粒子が得られるようになり、この技術が確立されるとともに装置の自動化により量産（24 時間のフル稼働で～15kg/月）が可能となり、目標は達成された。

平成 23 年度は、こうして量産されるナノフェライト粒子を用いて、「ナノフェライト粒子の分散技術の開発による磁性シート成形法の確立と電磁波吸収特性評価」、「チップインダクタの製造技術の確立」及び「高周波用アンテナ材の製造技術の確立」を目指して研究開発を実施する。

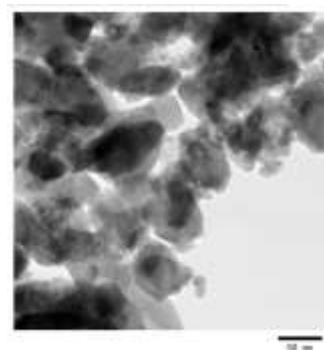


図 1.1.1.2 ナノフェライト粉末

1.2 研究目的及び目標

1.2.1 ナノフェライト粒子の分散技術の開発による磁性シート成形法の確立と電磁波吸収特性評価

1.2.1.1 磁性シート成形技術の確立と特性評価

（実施：(株)高純度化学研究所、埼玉県産業技術総合センター、国立大学法人埼玉大学、浮間合成(株)、リンテック(株)、アンテナ技研(株)）

1.2.1.1.a 超音波噴霧マイクロ波・抵抗加熱複合法によるナノ Mn-Zn フェライト粒子の量産試作

量産化に際してナノ Mn-Zn フェライト粒子が 2 次凝集する可能性があるが、解砕工程を加えることにより解決できる見通しがある。これを実施しながら川下工程の磁性シート作製のために大量のナノ Mn-Zn フェライト粒子を供給する。

1.2.1.1.b ナノ Mn-Zn フェライト粒子を用いる磁性シートを活用したノイズ対策ケーブルの試作

以下の手順により実施する。

①ナノフェライト粒子と高分子化合物をペースト化する。

ナノフェライト粉末の含有量、均一分散化、粘性などについて検討する。

②ペーストのシート化、テープ化及びノイズ対策ケーブルへの活用を検討する。

③シートを巻いたノイズ対策ケーブルの電磁気特性及び電波吸収特性を測定・評価する。

1.2.2 ナノフェライト粒子を出発原料とした焼結体製造技術の確立とノイズ対策デバイスへの応用

1.2.2.1 チップインダクタの製造技術の確立

(実施：(株)高純度化学研究所、国立大学法人埼玉大学、FDK(株)、浮間合成(株)、リンテック(株)、埼玉県産業技術総合センター)

1.2.2.1.a 積層チップパワーインダクタに適用できるナノフェライト粒子の組成と磁気特性の確立

ニッケル(Ni)―亜鉛(Zn)系フェライトのNiとZnの組成比の異なるナノフェライト粒子を作製し、形状と電磁気特性を調べて評価する。

1.2.2.1.b ナノフェライト粒子に適合する高分子化合物バインダ及び銀導体粉末の選定

①ナノフェライト粒子と高分子化合物バインダの混合比率及び分散状態の検討

ナノフェライト粒子を用いるチップインダクタを作製する場合、ナノフェライト粒子を含む塗膜に凹凸あるいは欠陥があるとコイルを形成する銀電極が断線するなどの不具合が生じることから、ナノフェライト粒子を含む塗膜の表面平滑性は重要である。そこで、高分子化合物のレオロジー特性とフェライト粉末の分散性を考慮して、均一に分散し、コーティングし易いペーストを作製する。

②フェライト層と銀導体粉末との適合性の検討

低温焼結に対応できる銀導体粉末の選定、及びフェライト層と銀導体との拡散・反応が生じない焼結条件を検討する。

1.2.2.1.c 焼成など製造プロセスの検討

秤量→混合→ペースト化→積層化→切断→焼成→電極付けの各工程がチップインダクタの特性に及ぼす要因を抽出し、最適プロセスを確立する。

1.2.2.2 高周波用アンテナ材の製造技術の確立

(実施：(株)高純度化学研究所、国立大学法人埼玉大学、埼玉県産業技術総合センター、浮間合成(株)、リンテック(株)、アンテナ技研(株)、FDK(株))

GHz帯に対応できる特性を持つ六方晶フェライトの中で高周波用アンテナ材として、 $(\text{Co}, \text{Ni})_2\text{Z}$ 型フェライトが候補となる。焼結試料を作製し、GHz帯までの電磁気特性を測定し、アンテナ材としての高周波特性を評価する。

1.3 研究体制

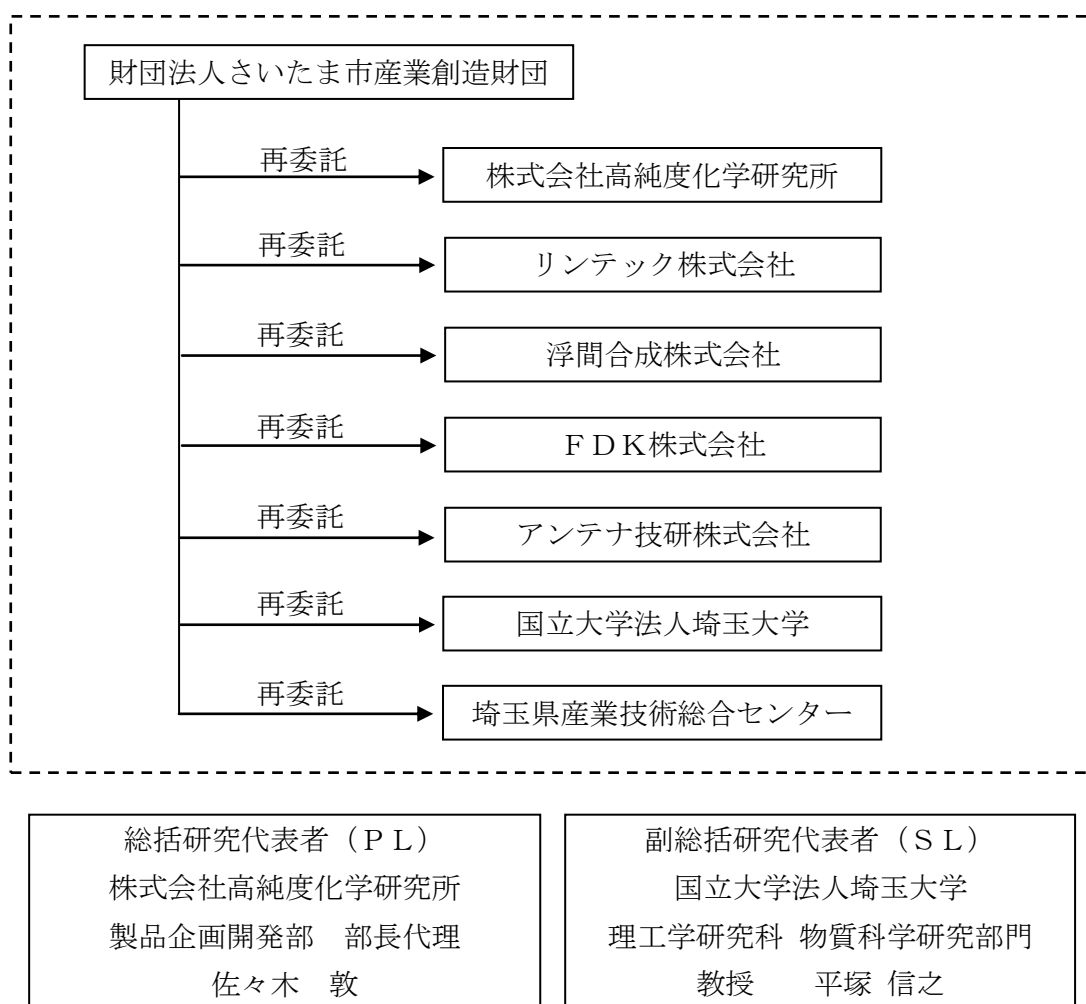
1.3.1 プロジェクトの管理・運営

(財団法人さいたま市産業創造財団)

- ・事業管理機関・財団法人さいたま市産業創造財団において、本プロジェクトの管理及び運営を行う。プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、成果報告書2部及び電子媒体(CD-ROM)1式を作成する。
- ・本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行う。
- ・再委託先事業者が作成する証拠書類について、指導・確認を行う。
- ・研究推進委員会を委託契約期間内に3回程度開催する。

1.3.2 研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者、研究組織及び管理体制

(1) 研究組織(全体)

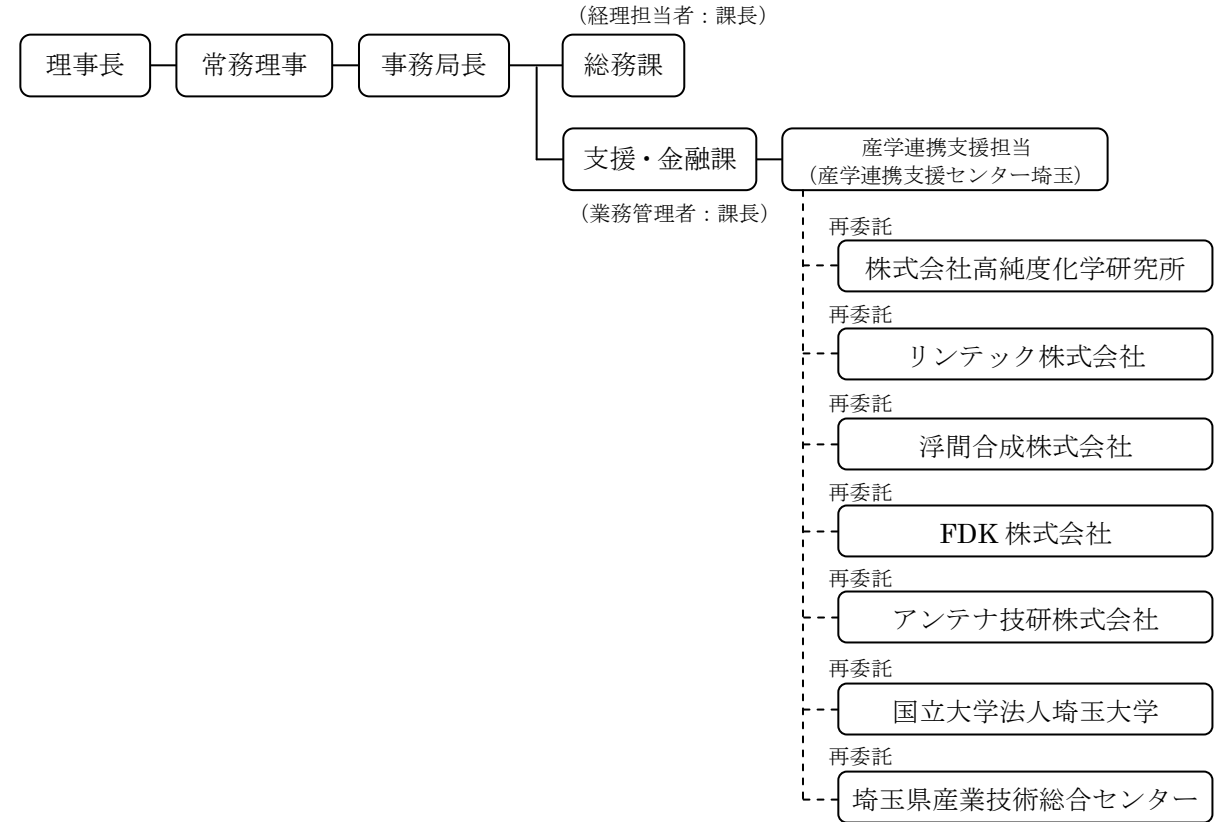


(2) 管理体制

【管理機構】

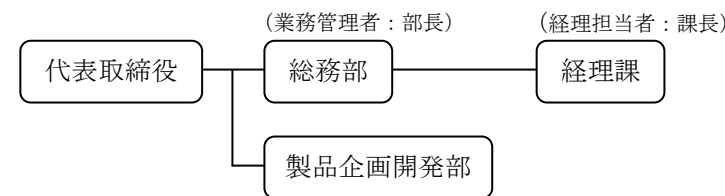
① 事業管理機関

[財団法人さいたま市産業創造財団]

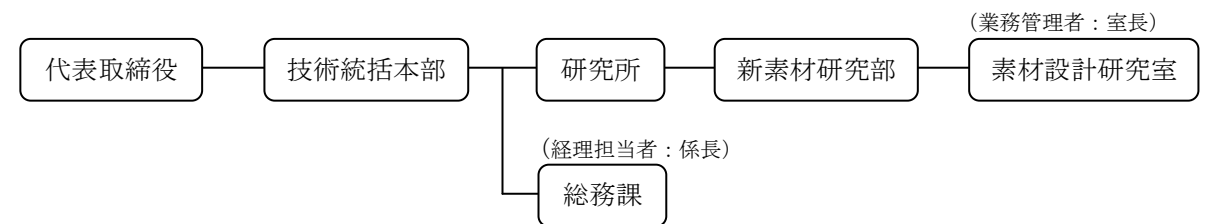


② (再委託先)

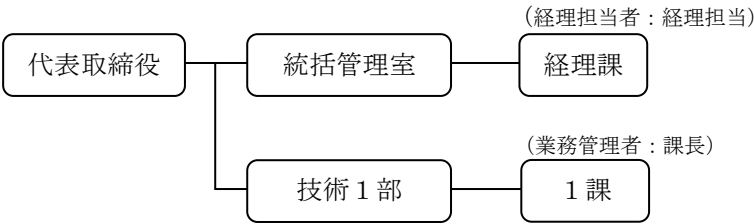
[株式会社高純度化学研究所]



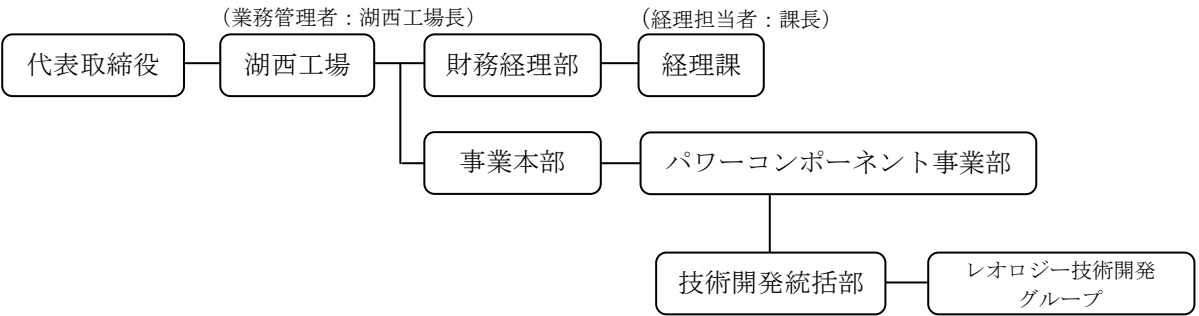
[リンテック株式会社]



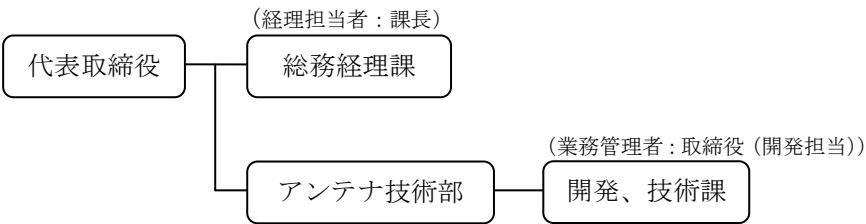
[浮間合成株式会社]



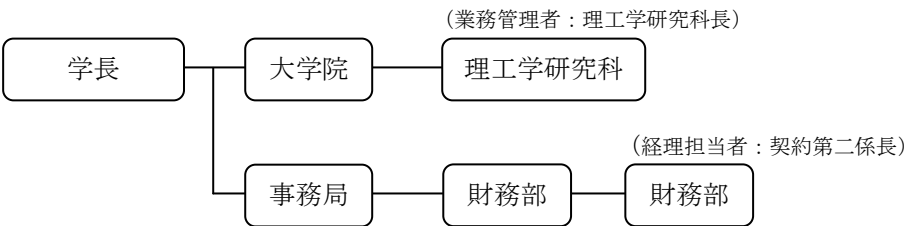
[F D K株式会社]



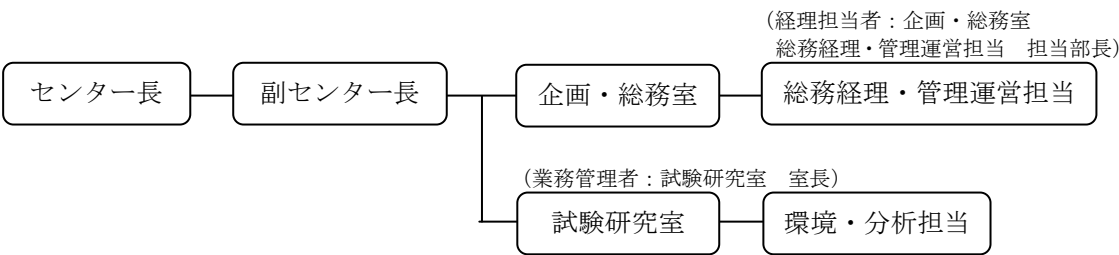
[アンテナ技研株式会社]



[国立大学法人埼玉大学]



[埼玉県産業技術総合センター]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 財団法人さいたま市産業創造財団

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
福田 裕子	支援・金融課 主査	③
小沼 正幸	支援・金融課 職員	③

【再委託先】※研究員のみ

株式会社高純度化学研究所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
佐々木 敦	製品企画開発部 部長代理	①-1～②-2
鈴木 正和	製品企画開発部 主任研究員	①-1～②-2
安部 秀吉	製品企画開発部 研究員	①-1～②-2

リンテック株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
小野 義友	研究所 新素材研究部 素材設計研究室 係長	①-1～②-2

浮間合成株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
上田 智現	技術 1 部 1 課 課長補佐	①-1～②-2

F D K株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
松尾 良夫	湖西工場事業本部パワーコンポーネント 事業部 事業部長	②-1、②-2
山本 慶太	湖西工場事業本部パワーコンポーネント 事業部技術開発統括部 レオロジー技術 開発グループ リーダー	②-1、②-2
森本 充暁	湖西工場事業本部パワーコンポーネント 事業部技術開発統括部 レオロジー技術 開発グループ 社員	②-1、②-2

アンテナ技研株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
川上 春夫	取締役（開発担当）	①-1、②-2

国立大学法人埼玉大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
平塚 信之	理工学研究科 物質科学研究部門 客員教授	①-1～②-2
柿崎 浩一	理工学研究科 物質科学研究部門准教授	①-1～②-2
石丸 雄大	理工学研究科 物質科学研究部門准教授	①-1～②-2
神島 謙二	理工学研究科 物質科学研究部門 助教	①-1～②-2

埼玉県産業技術総合センター

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
赤澤 力	試験研究室 環境・分析担当部長	①-1～②-2

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

財団法人さいたま市産業創造財団

(経理担当者) 総務課 課長 恩田 一生

(業務管理者) 支援・金融課 課長 白瀧 敏夫

(再委託先)

株式会社高純度化学研究所

(経理担当者) 総務部 経理課 課長 田原 悟志

(業務管理者) 総務部 部長 山形 加津宏

リンテック株式会社

(経理担当者) 研究所 総務課 係長 志賀 淳

(業務管理者) 研究所 新素材研究部 素材設計研究室 室長 杉崎 俊夫

浮間合成株式会社

(経理担当者) 統括管理室 経理課 森本 勝己

(業務管理者) 技術1部1課 課長 佐藤 浩正

F D K株式会社

(経理担当者) 湖西工場財務経理部 経理課長 竹田 貢

(業務管理者) 湖西工場長 須藤 純司

アンテナ技研株式会社

(経理担当者) 総務経理課 課長 原田 哲夫

(業務管理者) 取締役(開発担当) 川上 春夫

国立大学法人埼玉大学

(経理担当者) 財務部 経理課 契約第二係長 海上 哲明

(業務管理者) 理工学研究科長 山口 宏樹

埼玉県産業技術総合センター

(経理担当者) 企画・総務室 総務経理・管理運営担当 担当部長 山岸 善行

(業務管理者) 試験研究室 室長 北村 英三

(4) 他からの指導・協力者

ナノフェライト粒子プロジェクト委員会 委員

氏 名	所属・役職	備考
佐々木 敦	株式会社高純度化学研究所 製品企画開発部 部長代理	委 P L
平塚 信之	国立大学法人埼玉大学 理工学研究科 物質科学研究部門 客員教授	S L
鈴木 正和	株式会社高純度化学研究所 製品企画開発部 主任研究員	委
安部 秀吉	株式会社高純度化学研究所 製品企画開発部 研究員	委
小野 義友	リンテック株式会社 研究所 素材設計研究室 係長	
上田 智現	浮間合成株式会社 技術 1 部 1 課 課長補佐	
松尾 良夫	F D K株式会社湖西工場事業本部 パワーコンポーネント事業部 事業部長	委
山本 慶太	F D K株式会社 技術開発統括部湖西工場事業本部パワー コンポーネント事業部技術開発統括部 レオロジー技術開発グループ リーダー	委
森本 充暁	F D K株式会社 技術開発統括部 レオロジー技術開発グループ 社員	委
川上 春夫	アンテナ技研株式会社 取締役（開発担当）	
柿崎 浩一	国立大学法人埼玉大学 理工学研究科 物質科学研究部門准教授	

石丸 雄大	国立大学法人埼玉大学 理工学研究科 物質科学研究部門准教授	
神島 謙二	国立大学法人埼玉大学 理工学研究科 物質科学研究部門 助教	
赤澤 力	埼玉県産業技術総合センター 試験研究室 環境・分析担当部長	
加茂 守啓	大日精化工業株式会社 ファインポリマー事業部 企画室 室長	アドバイザー
上村 爾	大日精化工業株式会社 ファインポリマー営業本部営業1部3課	アドバイザー
吉田 睦	富士電波工機株式会社 第一機器部 技術課 課長	アドバイザー
新妻 照夫	クラリオン株式会社 技術開発本部 実験部 部長	アドバイザー
計良 武美	クラリオン株式会社 技術開発本部 実験部 1G 課長	アドバイザー
福田 裕子	財団法人さいたま市産業創造財団 支援・金融課 主査	
小沼 正幸	財団法人さいたま市産業創造財団 支援・金融課 職員	
酒井 芳克	財団法人さいたま市産業創造財団 産学コーディネータ	オブザーバー

1.4 成果概要

1.4.1 ナノフェライト粒子の分散技術の開発による磁性シート成形法の確立と電磁波吸特性評価

1.4.1.1 磁性シート成形技術の確立と特性評価

1.4.1.1.a 超音波噴霧マイクロ波・抵抗加熱複合法によるナノ Mn-Zn フェライト粒子の量産試作

- 1) 原料溶液の高濃度化、及び低流量搬送型超音波アトマイザーの付帯を検討した。その結果、24 時間のフル稼働で～30kg/month の量産が可能な目途が得られた。

1.4.1.1.b ナノ Mn-Zn フェライト粒子を用いる磁性シートを活用したノイズ対策ケーブルの試作

- 1) ナノフェライト粒子を高濃度化すると、30～40%までの範囲で分散度を低下させずに分散が可能であることがわかった。
- 2) 分散度を評価するために粒度分布及びメジアン径を測定した。濃度によるメジアン径の相違はなく、各サンプルとも二次凝集のない一次粒子にまで分散されていた。
- 3) 水系ウレタン樹脂をバインダとして作製した濃度 30%のサンプルと比較しても濃度 40%のサンプルの方が柔軟性があり、バインダとして選定した溶剤系ウレタン樹脂は高濃度化してもフィルム物性の低下を緩和していることが確認された。
- 4) このナノフェライト粒子の高濃度化は、電磁波吸収シートの性能向上のための必須条件であることから、大きなハードルを越えることができた。
- 5) シート断面の SEM 観察により、ナノフェライト粒子の凝集などは見られなかったため、安定したペーストの分散法が確立できた。
- 6) ウレタン樹脂 F により、ナノフェライト粒子を 40%含有しても柔軟性も保持可能になった。
- 7) 作製したすべての磁性シートの電波吸収特性は同等であり、反射が最大となる周波数は 4～5 GHz、反射損失は約 20dB となっている。
- 8) ナノフェライト粒子を用いた磁性シートでは、電波阻止帯域の中心周波数が市販品のサブミクロンフェライト粒子を用いたものに比べて高周波側にあり、また阻止帯域も若干広がっていることが分かり、これがナノフェライト粒子の特徴であると考えられる。このことから、ナノフェライト粒子を用いた電磁波吸収シートは当初狙った適用周波数帯よりも高周波用途に適しており、磁性粉の充填密度を高めることにより電磁波反射量を高めることで実用の可能性があると考えられる。

1.4.2 ナノフェライト粒子を出発原料とした焼結体製造技術の確立とノイズ対策デバイスへの応用

1.4.2.1 チップインダクタの製造技術の確立

1.4.2.1.a 積層チップパワーインダクタに適用できるナノフェライト粒子の組成と磁気特性の確立

- 1) インダクタ用として所望物性のナノフェライト粒子を製造するには、650℃以上の加熱が必要ながことが分かった。製造されるナノフェライト粒子は～100 μm 程度の凝集体として回収されるが、高温状態から急冷すれば固結の弱い凝集体となり、メディアミルなどで容易に分散可能な粒子が得られることが分かった。

1.4.2.1.b ナノフェライト粒子に適合する高分子化合物バインダ及び銀導体粉末の選定

- 1) 通常のフェライトより約 50℃低温で収縮を開始するが、920℃で μ は目標の約 1/3 で密度も低い値であった。1000℃の焼成で μ と密度ともに目標値に近づく。

1.4.2.1.c 焼成など製造プロセスの検討

- 1) 物性値 μ を反映したインダクタンスが得られた。20MHz までは $L=1.0\mu\text{H}$ のインダクタとして機能する。

1.4.2.2 高周波用アンテナ材の製造技術の確立

- 1) 800℃の噴霧熱分解ではスピネル混晶系と炭酸バリウム粉末が得られ、その粉末を1200℃で本焼成すると、Z型、W型の混合物が得られた。
- 2) $x=0.5$ の試料が高透磁率 (μ') で低保磁力 (H_c) を示した。これはZ型の含有率が最も高いからである。
- 3) Q値は100MHzにおいて約20-50が得られた。

1.5 当該研究開発の連絡窓口

(事業管理者)

財団法人さいたま市産業創造財団 支援・金融課

主査 福田 裕子

〒338-0002 埼玉県さいたま市中央区下落合 5 丁目 4 番 3 号

電話 048-857-3901

FAX 048-857-3921

E-mail y-fuku@sozo-saitama.or.jp

(総括研究代表者)

株式会社高純度化学研究所 製品企画開発部

部長代理 佐々木 敦

〒350-0284 埼玉県坂戸市千代田 5 丁目 1 番 2 8 号

電話 049-284-1512

FAX 049-284-1351

E-mail sasaki.atsushi@kojundo.co.jp

第2章 本論

2.1 ナノフェライト粒子の分散技術の開発による磁性シート成形法の確立と電磁波吸収特性評価

2.1.1 磁性シート成形技術の確立と特性評価

2.1.1. a 超音波噴霧マイクロ波・抵抗加熱複合法によるナノ Mn-Zn フェライト粒子の量産試作

平成 21 年度に超音波噴霧マイクロ波・抵抗加熱複合法（特願 2008-283175）を適用して連続的に製造できる量産試作装置を製作した（図

2.1.1. a. 1）。平成 22 年度では、回収率向上のために装置本体回収部の問題点を改善する高効率粒子回収装置を導入付帯した。その結果、粗大粒子などのロスが 10%以下に低減して回収率が 90%以上へ大幅に改善した。そして、ナノフェライト粒子が～15kg/month の月産能力で量産可能となった。

平成 23 年度は、さらに月産能力を高めるため、原料溶液の高濃度化、低流量搬送型超音波アトマイザーの付帯を検討した。最終的には、24 時間のフル稼働で～30kg/month の量産が可能な目途が得られた。

ナノフェライト粒子の量産を目標に超音波噴霧マイクロ波・抵抗加熱複合装置を試作し、種々問題が発生したが、的確な改善で図 2.1.1. a. 2 に示す進歩を達成した。今後もさらなる進歩を目指して製造技術の向上を図る。

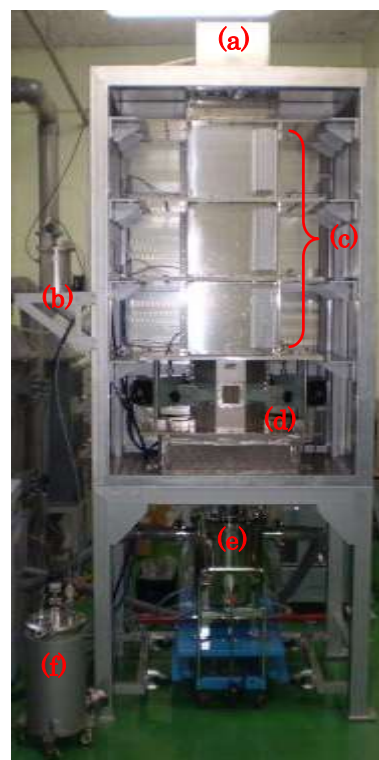


図 2.1.1. a. 1 試作装置外観

(a) 超音波噴霧部、(b) 送液部、
(c) 抵抗加熱部、(d) マイクロ波加熱部、
(e) 回収部、(f) 溶液貯蔵部

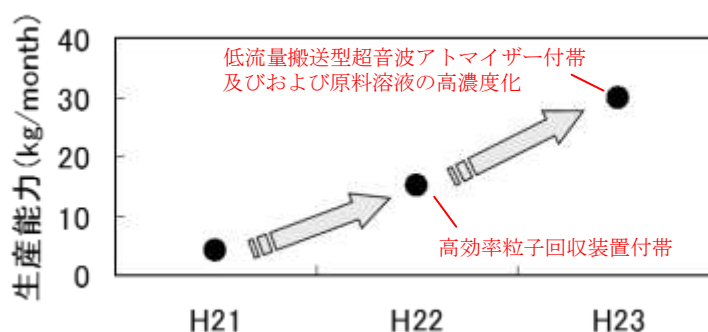


図 2.1.1. a. 2 ナノフェライト粒子の月産能力推移

2.1.1.b ナノ Mn-Zn フェライト粒子を用いる磁性シートを活用したノイズ対策ケーブルの試作

電磁波吸収シート用としてのナノ Mn-Zn フェライト粒子、及びチップインダクタ用としてのナノ Ni-Zn フェライト粒子の量産試作を同時に行っていたが、2つの川下工程からナノフェライト粒子の多量な供給要請がでてきた時点で、量産試作機の生産能力に限界があるため、ナノ Ni-Zn フェライト粒子の量産と性能検討に的を絞ることにした。なお、電磁波吸収シート用としてナノ Ni-Zn フェライト粒子を用いても支障がないことを事前に研究室レベルで確認した。

(1) ペーストの作製

以下の3つの課題について検討した。

- 1) バインダ樹脂の選定
- 2) 新規導入分散機を活用した分散法の確立
 - ・ H23 年度に新たに導入した「薄膜旋回型高速攪拌機」(プライミクス社製フィルミックス) を活用した均一分散ペーストの作製
 - ・ 従来分散方法と新規導入分散機との比較検証
- 3) 分散ペーストの高濃度化
 - ・ ナノフェライト粒子を高濃度充填することによる磁性シートの特性向上

その結果の到達点は下記のとおりである。

- 1) 樹脂の選定及び分散機の選定を実施し、ナノフェライト粒子の均一分散法がほぼ確立できた。
- 2) もう一つの目標であるナノフェライト粒子の高濃度化分散については、30-40%までの範囲で分散度を低下させずに高濃度化でき、一定の成果を得ることが出来た。
- 3) このナノフェライト粒子の高濃度化は、電磁波吸収シートの性能向上のための必須条件であることから、大きなハードルを越えることができた。

(2) 電磁波ノイズ吸収磁性シートの作製

ナノフェライト粒子分散ペーストからフレキシブル電磁波吸収テープ状シートを作製して特性評価を実施し、性能を高め、市場に供給できる製品化技術を開発する。そのためにシート作製技術をさらにテープ作製技術に発展させて長尺テープを試作した。以下に結果を示す。

- 1) 異なる固形分及び粘度で作製したペーストは、溶剤キャスト製膜によるシート化では、100 μm 程度の厚みまでシート化できた。
- 2) シート断面の SEM 観察により、ナノフェライト粒子の凝集などが見られなかったことから、ペーストの安定した分散法が確立できた。
- 3) ウレタン樹脂 F により、ナノフェライト粒子を 40%含有しても柔軟性も保持可能になった。

(3) 磁性シートの特性評価

磁性シートを作製し、その電磁波吸収特性を、ネットワークアナライザを用いたリターンロス法により評価し、ノイズ対策シートとしての性能を評価した。また、ナノフェライト粒子を電磁波吸収材料として使用した場合の優位性についても考察した。

図 2.1.1.b.1 は、作製した厚さ 500 μm の磁性シートの複素誘電率及び複素透磁率の周波数特性を示す。誘電率については実部(ϵ')及び虚部(ϵ'')ともほとんど変化がない。これはウレタン樹脂が本質的に低誘電損失であることに因ると考えられる。一方、透磁率は実部(μ')が減衰し始める 1 GHz 付近から虚部(μ'')が増大し始め、1~5 GHz 付近になだらかな極大を持つ特性を示す。

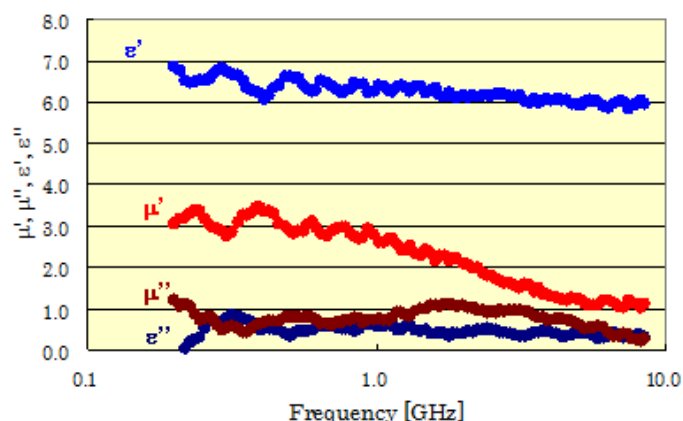


図 2.1.1.b.1 作製した磁性シートの複素誘電率及び複素透磁率

図 2.1.1.b.2 は、ナノフェライト粒子及び市販のサブミクロンフェライト粒子を用いて試作した磁性シートの整合厚における電波反射量の周波数特性を比較したものである。ナノフェライト粒子を磁性粉として用いた磁性シートでは、電波阻止帯域の中心周波数が市販品を用いたものに比べて高周波側にあり、また阻止帯域も若干広がっていることが分かり、これがナノフェライト粒子の特徴であると考えられる。このことから、ナノフェライト粒子を用いた電波吸収シートは当初狙った適用周波数帯よりも高周波用途に適しており、磁性粉の充填密度を高めることにより電波反射量を高めることで実用の可能性があると考えられる。

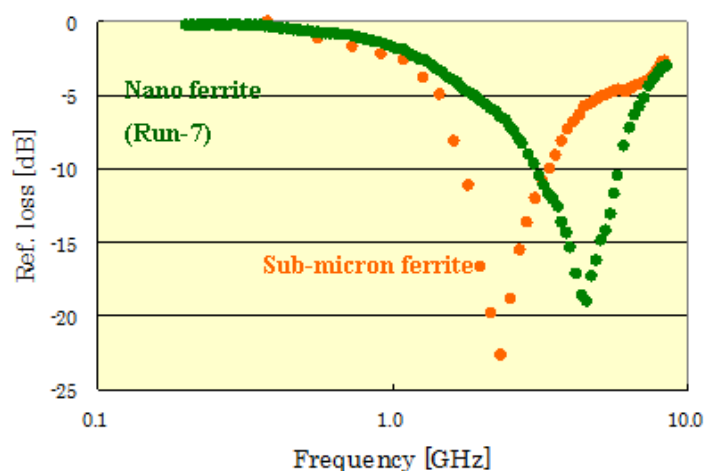


図 2.1.1.b.2 ナノフェライト及び市販のサブミクロンフェライトを用いた磁性シートの整合厚における電波反射量の周波数特性の比較

2.2 ナノフェライト粒子を出発原料とした焼結体製造技術の確立とノイズ対策デバイスへの応用

2.2.1 チップインダクタの製造技術の確立

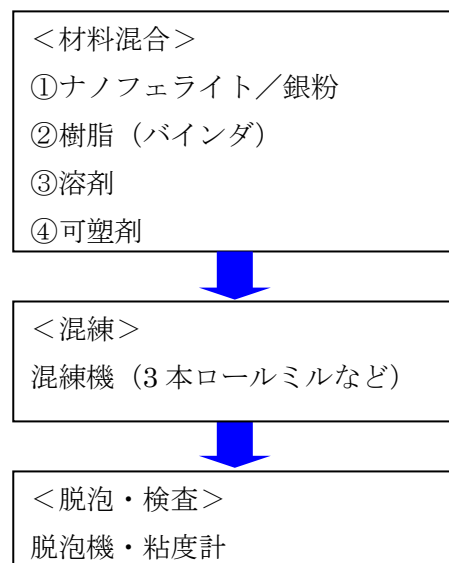
2.2.1.a 積層チップパワーインダクタに適用できるナノフェライト粒子の組成と磁気特性の確立

チップインダクタ用として、飽和磁化値 50emu/g 以上、保磁力 70 Oe 以下、粒子径 100nm 以下の物性を有するナノフェライト粒子の製造が目標である。この目標値達成のための加熱温度条件の見極め、及びナノフェライト粒子の分散方法を検討した。

その結果は以下のとおりである。インダクタ用として所望物性のナノフェライト粒子を製造するには、650℃以上の加熱が必要ながことが分かった。また、製造されるナノフェライト粒子は～100 μm 程度の凝集体として回収されるが、高温状態から急冷すれば固結の弱い凝集体となり、メディアミルなどで容易に分散可能な粒子が得られることが分かった。

2.2.1.b ナノフェライト粒子に適合する高分子化合物バインダ及び銀導体粉末の選定

図 2.2.1.b.1 は、各インクの製造フローを示す。PVB 樹脂と可塑剤、溶剤の配合によってインクの最適化を実施した。積層プロセスで重要なのは製膜した各層の強度であるため、ねじり強度を評価指標とした。銀粉に要求される機能として、①収縮率、②デバイス抵抗がある。特に収縮率は焼成時の亀裂や破壊につながるので留意した。



2.2.1.c 焼成など製造プロセスの検討

（1）製造プロセス:焼成工程について

図 2.2.1.c.1 に参考例として積層インダクタの一般的なプロセスを示す。この例ではフェライト層に内部電極（コイル）が印刷された各層が積層されている。ドクターブレード等のコーティング装置でフェライトシートを作製し、その上にスクリーン印刷で銀ペーストを印刷してコイルを形成している。このように作製された各層を積層し、プレス機で圧着し、所定のサイズに切断後、焼成工程に入る。

図 2.2.1.b.1 インク製造フローチャート

（2）製造プロセス:積層プロセスについて

本研究においては積層インダクタ試作に「インダクタ製造装置」を用いた。装置は「X-Yテーブル」と「吐出ノズル」から構成されている。インダクタ試作の流れを簡単に説明

□積層チップインダクタの構造と製造プロセス

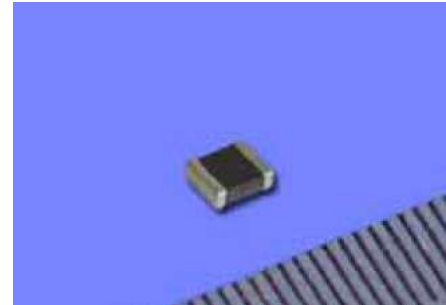
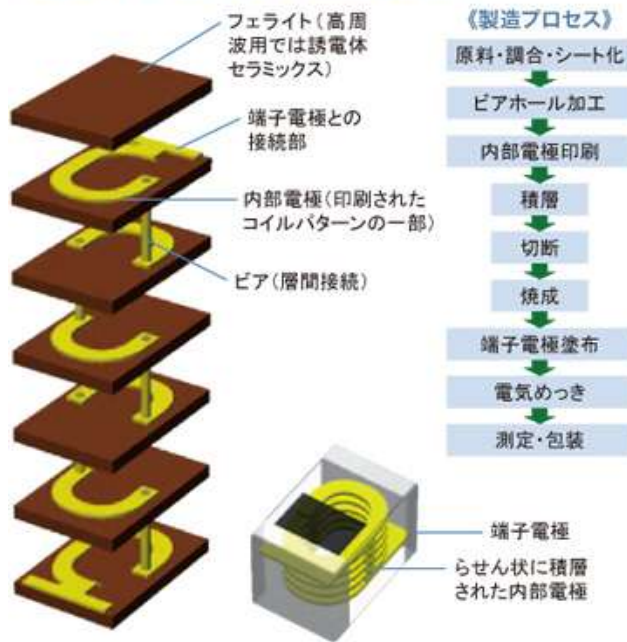


図 2.2.1. c.2 インダクタ外観

図 2.2.1. c.1 積層インダクタの製造プロセス

する。ノズルを有した吐出装置の各インクタンクにナノフェライトペースト（磁性）、及び銀ペーストを充填する。描画ソフトで設計したデータにより、コイル（回路）を描画する。吐出信号とX-Yテーブルの制御信号が同期し、コイル、フェライト層の順序で一層ずつ形成する。一層形成する度に、一旦、インダクタ製造装置よりワークを取り出し、120℃-30 分の条件で乾燥工程を入れている。

積層完了後、切断機により、チップ個片に切断し、前述の焼成工程に投入する。焼成終了後、バレル研磨工程でバリ取りを行い、外部電極形成、メッキ工程を経てインダクタは完成する。図 2.2.1. c.2 に得られたインダクタの外観を示す。両端の銀色の部分が端子電極である。

(3) 試作インダクタの特性について

1) ナノフェライト物性

通常のフェライトより約 50℃低温で収縮を開始する。920℃で μ は目標値よりも小さかった。1000℃の焼成で μ 及び密度ともに目標値に近づいた。

2) インダクタ特性

物性値 μ を反映したインダクタンスが得られた。20MHz までは $L=1.0 \mu\text{H}$ のインダクタとして機能する。

2.2.2 高周波用アンテナ材の製造技術の確立

Co_2Z フェライトの透磁率はスピネル型 Ni フェライトより高透磁率で、限界周波数も高周波まで伸びる。このように Co_2Z フェライトは高周波での軟磁気特性が良好であり、高周波用アンテナ材としての利用が期待される。

また、アンテナ材としてもう一つ重要な要求特性は、高い品質係数（Q 値）である。これを実現するためには、焼結後の結晶粒径が $3\mu\text{m}$ 以下の Z 相の単相が必要とされている。したがって、本研究では原料をナノサイズの粒子から出発してそれを実現しようとしている。

そこで、高周波軟磁気特性及び Q 値を制御するために、置換型の $\text{Co}_{2-x}\text{Ni}_x\text{Z}$ フェライト ($x=0-2.0$) のナノサイズ粒子作製を目的として、超音波噴霧抵抗加熱法で原料粉末を作製の上、本焼成を行うことで試料作製及び評価を行った。

図 2.2.2.1 はこれらの本焼成試料の磁化及び保磁力を示す。磁化に大きな変化は見られない。保磁力は $x=0.5$ で最小値を示す。これは、X 線回折パターンにおいて Z 型フェライトが最も多く生成したことに対応している。

本焼成試料の透磁率を測定した。Z 型フェライトが最も多く生成した $x=0.5$ の試料において、初透磁率が向上している。これは透磁率が高い Z 型フェライトの特性が出ていると考えられる。その透磁率を用いて計算した品質係数（Q 値）を図 2.2.1.2 に示す。Q 値は 100MHz において約 20～50 である。

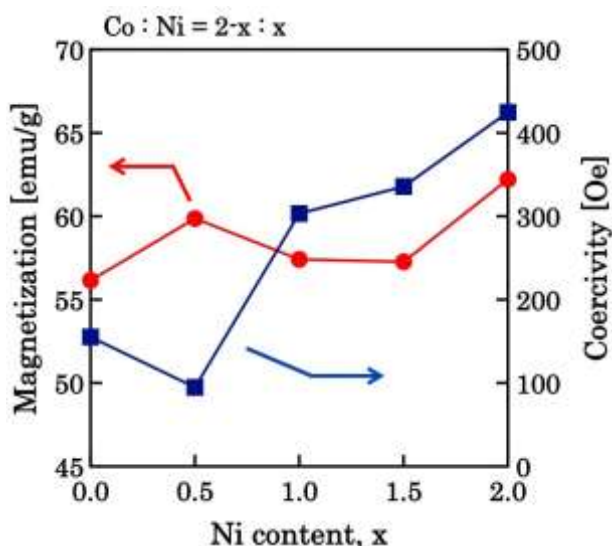


図 2.2.2.1 1200°C で本焼成した試料の磁化と保磁力

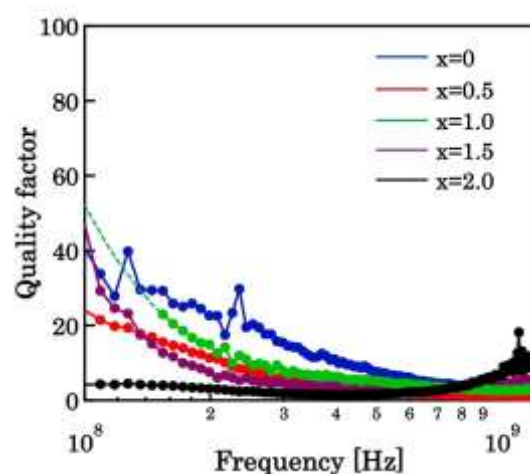


図 2.2.1.2 本焼成した試料の品質係数（ μ' / μ'' ）