受賞記念講演：平成 11 年度 技術進歩賞

クリーンキャリアコアの開発

望月 武史

FDK (株), 〒431-0495 湖西市鷺津 2281.

Clean Carrier Cores for Electrophotography

Takeshi Mochizuki

FDK Corp., 2281 Washizu, Kosai 431-0495.

Received September 7, 2000

SYNOPSIS

Most carrier cores for electrophotography are made from Cu-Zn or Ni-Zn ferrites. But in recent years, environmental experts are now warning that carriers, when placed in waste disposal sites after use, may be contaminating underground water. The experts explain that the nickel, copper, zinc and other hazardous heavy-metal ions disperse from the thrown-away soft ferrite carriers into the soil at waste disposal sites when exposed to acid rain; even if a waste disposal site has a concrete casing that seals itself off from the surrounding soil, heavy-metal ions can infiltrate into underground drinking water through cracks in the concrete. As a result, the use of these materials has been restricted by environmental regulations in many countries. In answer, we have succeeded in developing clean carrier cores that meet the environmental regulations of all countries. These clean carriers can be divided into magnetite and clean ferrites, both of which are produced by FDK's original production techniques. In particular, clean ferrites are new composite magnetic materials that can be designed to suit our customers' specific needs. We are hopeful that clean ferrites will become the main material of electrophotographic carrier cores in the near future.

KEY WORDS

carrier core, clean carrier, clean ferrites, magnetite, environmental regulation

1 緒 言

複写機やレーザービームプリンターにおいて、インクの役目をするトナーを運ぶ担体がキャリアである。近年の環境重視の動向のなかで、新たに見直された環境法規制を満足する新しい電子写真キャリア用フェライトの材料系列を「クリーンキャリア」と称して開発したので報告する。

電子写真方式には、トナーだけを用いる 1 成分方式と、トナーとキャリアを用いる 2 成分方式がある。2 成分方式は、中高速複写機やレーザービームプリンターに採用され、鉄粉や球形の Cu-Zn フェライト粉が主として使用されている。米国カリフォルニア州に端を発した環境法規制強化の流れは、瞬く間に全世界に広がり、粉体であるフェライトキャリアが法規制対象として捉えられるようになってきた。

2 フェライトキャリアの環境影響と対策

Fig.1 にフェライトキャリアコアの SEM 写真を示す。フェラ

イト系キャリアは、スプレードライヤーで造粒された球状粉を、篩い分けによって所望の粒度分布に粗調整して焼結し、焼き付きをほぐした後、再度粒度分布調整をして、キャリアコアとする。写真でも分かるように、粒度分布はかなりシャープに調整されている。通常はこのキャリアコアに、樹脂コーティングを施してキャリアとする。樹脂被覆量は、1~2 重量パーセントくらいが一般的である。

専門家筋によるフェライトキャリアの環境汚染の懸念は次のようなものである。廃棄物処理場に投棄された廃フェライトキャリアは、樹脂被覆が剥げていたり摩耗して薄くなっている。このため酸性雨などの水たまりにフェライトの構成イオンが溶出し、処理場のシールがコンクリートのひび割れなどで破れた際に、地下水に有害金属イオンが侵入して飲料水源を汚染する可能性があると考えられている。もう一度整理すると、廃棄物処理場に投棄された廃キャリアから、環境的に有害重金属であるとされるニッケル、銅、亜鉛のイオンが溶出

し、地下水に侵入して、飲料水源を汚染するというメカニズムが指摘されている訳である。イオンの溶出は酸性雨などにより助長されることや、廃棄物処理場のコンクリートシールにひびが入ると、処理場にたまった汚染水は簡単に地下水に侵入し、結果として飲料水源を汚染してしまうことが相まって、環境規制をより厳しい方向へ導いている。廃キャリアの回収、リサイクルでこの問題を回避することもできるが、特に複写機の場合は個別ユーザーからの全面回収は非常に困難である。

前述したような環境懸念に対し、各装置メーカーは三種類の対応を進めている。第一は、将来的にも環境汚染の可能性のない鉄粉系材料への置き換えである。もともと電子写真用キャリアは鉄粉系材料が中心であったが、軽くて、表面状態が安定しており、比較的抵抗の高いフェライト材料へ、長寿命化や高性能化を目的として、置き換えられてきた。この先祖帰りのような発想のドライビングフォースは、安価なスポンジ還元鉄粉の台頭によるところが大きい。比重もさほど重くなく、非球状であるため表面状態の影響が比較的少ないなど、従来の鉄粉系材料の弱点を補う事で、最近の新製品にも使用されている。第二は、フェライト系材料では最も環境負荷の小さいマグネタイトへの置き換えである。抵抗が小さく、どちらかと言えば不安定な材料であるマグネタイトが、キャリア材料として使用できるのかという懸念もあったようである

が、複写機、レーザービームプリンターのモノクロ機にはかなり幅広く使用されており、キャリア材料の一角として認知されるようになってきている。第三は、無害金属からなるフェライト材料である。この置き換えは材料の開発期間が長くなり、技術的な障壁も高いが、フルカラー機やデジタル機を中心として開発が進められており、従来のフェライト材料とフルコンパチブルもしくは更に改良を加えた系への取り組みが積極的に行われている。

3 マグネタイト

Fig.2にキャリア材料のラインアップを示す。従来のフェライト系材料では、ソフト材料とハードもしくはセミ・ハード材料が上市されている。今回の開発では、クリーンキャリアと称する環境対応型の材料系列を新たに追加した。クリーンキャリアは、当社独自製法による高純度マグネタイトと、無害金属フェライトと無害金属酸化物からなるクリーンフェライトを合わせた総称である。

まずマグネタイトについて説明する。キャリア用としては使用されていないが、古くから磁性粒子として使用されているマグネタイト粉末は、湿式のアルカリ共沈と気相還元を組み合わせて製造されている⁹⁾。磁性トナーに用いられるマグネタイト粉末はこの製法により生産されている。このマグネタイトの従来湿式法は、シャープな粒度分布の微粉末が得られるというメリットがある。一方デメリットとしては、バッチプロセスであるため工業原料として大量に使用される際のロットばらつきに不安がある、アルカリ金属を完全に除去することができず電子写真プロセスへの応用を考える際には残

Fig.1 SEM photograph.

Fig.2 FDK carrier cores.

存アルカリ量が環境安定性に大きく影響するし、残存アルカリ量低減には洗浄費用のコストアップを伴う、気相還元の際に比較的危険な還元ガスを使用しなければならないことなどが挙げられる。また従来から行われているマグネタイトの乾式製法は、ヘマタイト原料を造粒し、還元ガス中で反応焼結するものであり、工程はいたってシンプルである。この製法で大量に工業用マグネタイトが生産されているとは思えないが、比較的危険な還元ガスを使用しなければならないことと、得られるプロダクトがマグネタイトとヘマタイトの複相であり、乾式法という製法に起因する生産コスト以外にあまりメリットはないように思われる。鉄と酸素の相図から読みとると、大まかには1000°C以上ではマグネタイトは単相で存在できるが、クエンチ等の手法を用いない限り、室温では複相になってしまう。このためマグネタイト製法では、焼結・冷却条件が非常に重要になる。

Fig.3にキャリア用として使用されている他社のマグネタイト製法を示す²⁾。この製法は海外のメーカーのもので、非常に高純度の恵まれたマグネタイト鉱山を持っていることを背景に開発された製法である。マグネタイト鉱山はブラジル等でも製鉄用に開発されているが、マグネタイト純度はたかだか30~40%であり、本製法は実質的に世界中で一社だけが実施できる製法であると言える。高純度マグネタイト鉱石を粉砕しながら、シリカやアルミナといった不純物を浮遊選鉱で取り除く。通常マグネタイト鉱石の不純物は相間に析出しているので、粉砕・選鉱を繰り返すことにより大半を除去できる。この原料をスプレードライヤーで球形に造粒し、マグネタイトの酸化防止のため窒素・水蒸気の混合気体中で焼結する。

Fig.3 General magnetite carrier production method.

この製法ではほぼ単相のマグネタイトを得る事ができる。この製法では、他の従来法によるマグネタイトよりも、はるかにキャリア用に好適な材料が得られるが、造粒時に添加しているバインダの燃焼により一部のマグネタイトが還元されウスタイトを含む複相になること、天然鉱石を出発原料としているため不純物、特にアルカリ含有量が多く、キャリアとしての電気特性が湿度の影響を受けやすい不安がある等の課題が挙げられる。

Fig.4に我々の開発したマグネタイト製法を示す³⁾。出発原料にはヘマタイトを使用している。通常は製鉄の薄板酸洗工程から出る廃液から作られる工業用原料を使用するが、ヘマタイト鉱石を粉砕・選鉱したものも原料として使用できる。このヘマタイトにポリビニルアルコールを加えて、スプレードライヤーで球状に造粒し、窒素中で焼結する。還元は二段階反応となっており、第一段階はポリビニルアルコールを窒素中で不完全燃焼させることでヘマタイトの還元剤として作用させている。第二段階は、未還元部分を酸化鉄の相と酸素濃度の熱平衡を利用して還元している⁴⁾。図示はしていないが、焼結後にキャリアコアとしてのいくつかの仕上げ工程が必要である。仕上げ工程は、解砕、整粒、分級、篩別に大別される。解砕はキャリア粒子の焼き付きをほぐす工程、整粒は焼き付き跡を除去する工程、分級は微粒子を除去する工程、篩別は最終の粒度分布を篩い分けによって調整する工程となっている。この新しい製法によるキャリア用マグネタイトは、単相、高純度、特別な還元ガスが不要というメリットがある。取り分け高純度は最大のメリットであり、特にアルカリ含有量が非常に少ないため、湿度に対するキャリアの電気的な特性変化が小さく、電子写真分野の用途に好適と考えられる。

ヘマタイトからマグネタイトへの還元状態を説明するため、Fig.5にTGチャートを示す。300~600°Cでは、ポリビニルアルコール(PVA)が窒素中で熱分解しヘマタイトから酸素を奪っている。その後、1200°C位までは一旦還元されたヘマタ

Fig.4 FDK magnetite production method.

イトが一部再酸化されるため重量が微増する。1200℃以上では酸化鉄-酸素の熱平衡により、第二段階の還元が起こっている。還元反応が完了したら、酸素濃度に注意しながらクエンチしてやれば、単相のマグネタイトが得られる。この製法は二段階の還元反応が最大の特徴である。第二段階の還元温度、すなわち焼結温度が高過ぎると、マグネタイトの一部が更に還元されてウスタイトが生成してしまうので、注意が必要である。

還元剤の種類や量を確認するための実験を行った。実験では、焼成条件による生成相の変化を避けるため、試験焼成条件を昇温速度200℃/hour、冷却速度も200℃/hourに固定し、窒素中で焼成を行った。Fig.6に、造粒時にバインダとして添加しているPVAの還元剤としての効果を示す。PVAを2wt%添

Fig.5 TG-chart.

Fig.6 Effect of PVA as the reducing agent.

加した場合には、加熱温度に対して飽和磁化が二段階に持ち上がっており、ヘマタイトからマグネタイトへの還元が二段階反応となっていることと、最終的に到達した飽和磁化がほぼマグネタイトの理論値(約92Am²/kg)となっており、単相マグネタイトが生成していることを裏付けている。TGチャートの説明で述べたように、600~1200℃あたりの重量の微増が生成マグネタイトの再酸化であることは、この飽和磁化推移からもうかがえる。PVAを添加しない場合は還元反応は一段階であり、酸化鉄-酸素濃度の熱平衡によるもののみであることが分かる。しかも最終到達磁化はマグネタイトの理論値の約3分の2であり、30~40%のヘマタイトが残存していると考えられる。

300℃, 600℃, 1300℃で焼成したサンプルのX線回折パターンをFig.7に示す。PVAを2wt%添加した場合は、600℃からマグネタイト相が生成し、1300℃ではX線的には単相となっていることが確認された。PVAを添加しない場合は、600℃ではマグネタイト相は現れず、1300℃においても未だヘマタイトとマグネタイトの複相であることが確認できる。

Fig.8にPVAの添加量による還元剤としての効果を示す。焼成条件は、1300℃、保持時間2時間、窒素中に固定して実験を行った。0.1~3パーセントの範囲で、還元剤としての効果が確認でき、生成物はマグネタイト単相であった。PVAの量は、造粒時のバインダーとして0.7~2パーセントの添加が必要であり、バインダーとしての必要量で還元剤としての役割を果たすことができることを確認した。

PVA0.1パーセントという非常に少ない添加量でも、還元剤

Fig.7 X-ray diffraction pattern.

としての効果があることを確認した。ごく少量でもPVAが還元剤として作用することを説明するには、Fig.9に示したPVAの分散状態について言及する必要がある。スプレードライヤーで造粒を行う際には、原料をスラリー化しておく必要が

Quantity of PVA (wt%)	Generated phases
0 . 0	Hematite Magnetite
0 . 1	Magnetite
0 . 2	Magnetite
0 . 5	Magnetite
1 . 0	Magnetite
2 . 0	Magnetite
3 . 0	Magnetite

1300 °C × 2 h r . i n N₂

Fig.8 Quantity of PVA vs. generated phases.

Fig.9 Condition of PVA.

ある。スラリー中では、原料粒子は単分散または数次程度の柔らかい凝集粒子を構成していると考えられる。一方PVAは鎖状の分子にほぐれ、スラリー中を泳動していると考えられる。原料粒子表面にPVA分子がたどり着くと表面に吸着し、PVA被膜を形成する。スプレードライヤーで乾燥される際に、余剰な未吸着のPVA分子は乾燥粒子の表面へ、蒸発に伴う水の物質移動と同時に移動し、乾燥粒子の表面に固着するが、原料粒子表面に吸着したPVA分子はそのままの状態に固着すると思われる。大雑把な言い方をすれば、原料の一次または数次の凝集粒子はそれぞれPVAに覆われた状態で乾燥粒子一粒を構成していることとなり、サブミクロン単位で原料とPVAが混在しているため、非常に少ないPVA量でも還元剤としての働きが発現しているものと考えられる⁹⁾。

還元剤としての効果を種々の物質で調査した。Fig.10に代表例を挙げる。セラミックスでバインダや水系の界面活性剤として用いられる物質のほとんどは、還元剤として作用することが分かった。グラファイトを除けば、分子中に炭素-炭素の一重または二重結合を持つ固体または液体状の物質は、全て還元剤としての機能を有する。もちろん工業的には、添加量の比較的多いバインダを還元剤としても作用させることが、コスト的に最も有利であることは言うまでもない⁹⁾。

当社の新しいキャリア用マグネタイト製法の特長をまとめると、単相であること、高純度であること、アルカリ金属の含有量が少ないため電気的特性の環境安定性に優れていること、二段階還元のため焼成条件に調整余裕があり焼成温度や保持時間による表面状態制御が容易なためコーティングの要求に合わせた表面状態を作りやすいこと、不純物が少なく磁性がよりソフトなため非磁性異物除去のために行う磁気選別

Fig.10 Reducing agents.

後でも着磁されにくく着磁作用による外観比重の減少が少ないこと、などが挙げられる。

4 クリーンフェライト

環境対応型の新しいキャリア材料には、三つの課題がある。すなわち、

- (1) 無害な材料だけで構成すること
- (2) 抵抗率の電界特性制御が可能であること
- (3) 磁化の制御が可能であること

が求められる。必須条件である無害な材料だけで構成することについては、当然今現在の環境関連法令をクリアすればよいのではなく、将来の規制強化にも対応できる材料の環境安全性が求められる。抵抗率の電界特性制御は、フルカラー機対応には非常に重要なポイントで、各社の装置設計に合わせた調整が求められる。磁化の制御については、低磁化要求は一部の特殊な方式に限定されている。一方高磁化要求は、高精細度化のためトナーを小径化し、これとのマッチングのためキャリアも小径化すると、トナーと一緒に微粒子キャリアが現像されて白抜けを起こしやすくなるため、キャリアの磁化を高くして微粒子キャリアが現像されるのを防ぐ観点から、ほとんどの高精細度装置で要求される事項となっている。

無害金属からなるフェライトを考える前に、カリフォルニア州法で有害とされる金属フェライトの長所を確認しておきたい。まずNiフェライトであるが、大気中で焼成できるフェライトでは最も磁化が高く、価格は高いものの良好な磁気特性を持っている。他のフェライトとの置換も容易で、一般的には数種のフェライトと複合して使用される。キャリア材料としては、通常の立方晶系のNi系フェライトの他、六方晶系のNi系フェライトも実用に供されている。次にCuフェライトであるが、融点が低いため焼結性が高く、焼結温度を下げたり、キャリアの表面状態を制御するのに使用されている。CuやCuOは延展性が高く粉碎しにくいいため、比較的局在化しやすいが、キャリアとしてはそれも印字性能を安定して引き出すため積極的に分布を取り込むという観点から、局在化し

たCuやCuOによりキャリアコア表面の一部がつるつるの粗大グレインになることも、ミクロな帯電量分布やコート膜厚分布を導入できることでむしろ長所と見られている感がある。Znフェライトは良く知られているように、磁化はないものの、イオンのサイトの指向性を利用して、フェリ磁性体の磁化を高める働きがあり、ほとんどのフェライトに複合されている。このようにカリフォルニア州法で規制されるフェライトの系はどれも非常に重要なものであり、これをただ単に取り除いて同等の特性のフェライトを得ることは非常に困難であると考えられる。

Fig.11に種々のフェライトの系を、磁化の高い順に挙列した。×印はカリフォルニア州法で規制されるフェライトである。無害金属フェライトである太字の系について考察する。Mnフェライト、マグネタイトは雰囲気焼成が必要で、電磁気特性は焼成雰囲気によって大幅に変化する。LiフェライトとMgフェライトは比較的難焼結材料で、キャリアとして要求される低い表面空孔率を実現するのに困難が伴う。我々は種々の単元フェライトで、キャリア用として最も一般的なCu-Znフェライト相当の電磁気特性を得ようと試みたが、組成や焼結条件を変えることだけでは不可能であった。

そこで我々は、Fig.12に示すように、無害で新しいキャリア材料を、コンポジット材料で構成することを検討した。この試みは磁性相と抵抗相を別な相で構成し、両相の比率と分布で電磁気特性を制御しようというものである。磁性相にはできるだけ磁化の高いものを用いた方が抵抗相の調整に有利であるので、マグネタイトまたは無害金属フェライトのうちで比較的磁化の高いものを選択した。抵抗相にはマグネタイト

	MnFe₂O₄	(Mn ferrite)
	FeFe₂O₄	(Magnetite)
	LiFe₂O₄	(Li ferrite)
×	NiFe ₂ O ₄	(Ni ferrite)
	MgFe₂O₄	(Mg ferrite)
×	CuFe ₂ O ₄	(Cu ferrite)
×	ZnFe ₂ O ₄	(Zn ferrite)

Fig.11 Major ferrite categories.

Fig.12 Design of clean ferrite.

の酸化相であるヘマタイトや、無害金属フェライトの酸化相である無害金属酸化物を選択し、主には酸化によって抵抗相の量の制御を行うこととした。

キャリア用材料としてみたコンポジット材料の弱点は、内部応力に起因する保磁力の増大である。この保磁力を実用可能範囲内に押さえ込むのが、開発上最も苦勞したポイントである。また複相材料であることから心配される粒子強度の低下や、一粒ごとの組成偏析が起らないよう、混合条件等には細心の注意を払っている。しかし一粒内での成分の偏析は明らかに観察され、これも内部応力の増大を助長していると考えられる。Cu-Zn フェライトでも一粒内での組成偏析は同様に見られるが、Cu成分の偏析は低融点であるCuOの融解と再析出によって起こるため、大きな内部応力の増大を伴っていないと考えられる。

またクリーンフェライトでは、Cu-Zn フェライトとの磁化曲線形状の相違に伴う材料設計上の注意が必要である。Cu-Zn フェライトは保磁力が小さく、磁化曲線は比較的角形であるので、磁界の強さで磁化は大きく変化しない。これに対してクリーンフェライトは、非磁性部分を含むため保磁力が比較的大きく、磁化が磁界の強さに比例して比較的緩やかに増大する。このため飽和磁化でその実用性を論じることができないという問題があった。我々は一般的な電子写真用途の実用磁界の強さと考えられる80kA/mで、Cu-Zn フェライトと同等の磁化を出すことを材料設計基準として開発を進めた。

我々が開発に成功したクリーンフェライトの系は、Fig.13に示した五つである^{7a)}。Ti系、Ca系は磁化や保磁力の観点から、キャリア材料としての用途はやや限定されたものになる。他の三つの系は、磁気特性ではどれも見劣りはしないし、Cu-Zn フェライトと同等な磁気性能を発現できる。環境側面を考慮するとMg系は最も有望な系である。セラミックス用のMg原料は海水から作られており、比較的安価なことに加え、たとえ河川にMgイオンが流出したとしても、地球規模でのリサイクルシステムとなっており、長期的な環境負荷も一番安心できる系である。Mn系は、米国等で粉体材料中のMnが規制物質化される動きがあり、強くは勧められない。

Fig.13 Major clean ferrite categories.

またMnは弱い酸でも容易に溶出しやすく、しかもイオン状態ではpHに応じて価数が大きく変わる元素であり、長期的な環境負荷を考慮すると、やや問題があると言わざるを得ない。Li系は、Li原料が高価なこと、アルカリ金属としての生態系への影響不安が皆無ではないこと、難分析元素で環境影響を評価しにくいことなどがあり、やはりMg系に一步譲るところ大である。

ここではクリーンフェライトの代表例として、Mg系の製法をFig.14に示す。ヘマタイトと酸化マグネシウムを原料として、水とPVAを加えてスラリー化した後、スプレードライヤーで球状に造粒する。この顆粒を窒素中で焼成し、必要に応じて酸化や還元などの抵抗調整を行う。

一粒一粒が商品のキャリアでは、一粒ごとの組成差が大きいと印字品質に影響を及ぼすことが懸念される。このため我々は、焼成品の断面をEPMAで観察し、適切な混合条件を決定している。Fig.15はMg濃度をマーカーにしたマッピング結果であるが、粒子ごとの組成に大きな偏りはなく、粒子内の分布も比較的均質になっていることが確認できる。

Fig.16にX線回折パターンを示す。磁性相であるマグネタイト及びMgフェライトのスピネル相、抵抗相であるヘマタイト相及びマグネシア相が生成しており、材料設計通りの相でクリーンフェライトが構成されていることが確認できた。

クリーンフェライトの電気・磁気特性の制御について少し説明する。従来のCu-Zn フェライトでは磁化は多少の制御ができるものの、抵抗率については成り行きのケースがほとんどであり、コーティングを介するため顕著には見えていないが、キャリアの重要な特性の一つである帯電量の不安定要因になっていた可能性がある。クリーンフェライトでは、抵抗率は抵抗調整工程で所望の値に調整するので、組成は求める磁化から一義的に決めることができる。焼成雰囲気でも抵抗率はある程度制御可能であるが、我々は工程の安定性を優先

Fig.14 Mg-category clean ferrite production method.

し、原則としてどのクリーンフェライトも窒素の単一雰囲気
で焼成する事とした。この結果、磁化は0~90Am²/kg強、抵

抗率は大まかには 10³ から 10¹¹ ohm・cm の範囲で制御可能と
なった。しかし、残念な事に比較的広い範囲では磁化と抵抗
はトレードオフの関係にあり、独立に制御できないことが判
明している。クリーンキャリアの代表的な特性を、Table 1 に
示す。

Fig.15 Mg mapping by EPMA.

Table 1 Typical characteristics of clean ferrites.

	Magnet- ization at 80kA/m (Am ² /kg)	Coer- sive force (kA/m)	Resistivity at 100V/cm (G・ohm・ cm)
Magnetite	6 7	9 6 0	0. 2
Ti-category	5 1	2 8 0 0	2. 2
Ca-category	4 4	4 5 6 0	3. 5
Mg-category	5 0	7 2 0	2. 4
Mn-category	5 2	4 0 0	2. 9
Li-category	5 3	5 0 0	1. 9
Cu-Zn ferrite	6 3	1 6 0	1. 0

Mg-category clean ferrite

Fig.16 X-ray diffraction pattern.

クリーンキャリアの製造コストを、Cu-Zn フェライトと比較したものをTable 2に示す。比較的高価な非鉄金属類を多量に使用しない分、原料はクリーンキャリアの方が安価である。焼結はほとんどのクリーンキャリアが窒素中で焼成されるため、クリーンキャリアの方がコスト高となる。抵抗調整はCu-Znフェライトでは不要であるが、一部のクリーンキャリアで必要なため、クリーンキャリアの方がコスト高となる。トータルでは、Cu-Zn フェライトとほぼ同等もしくはやや高めの製造コストの範囲内で、クリーンキャリアは量産できる。

環境法規制に適合するクリーンキャリアと称する材料系の開発に成功した。クリーンキャリアには、当社独自製法の高純度マグネタイトと、無害金属フェライトと無害金属酸化物のコンポジット材料であるクリーンフェライトがある。これらの材料が、今後の電子写真用キャリアコアの主流材料になることを切望する。

文 献

- 1) G.Raw: "The synthesis and characterization of magnetites and nickel ferrites", AERE HARWELL, (1983).
- 2) U.S.A.Patent4019239: "Method of producing magnetite article".
- 3) Y.Mano, A.Shimokawa, T.Mochizuki and I.Sasaki: "Magnetite carrier core", Ceramic Transactions, 47(1995)261-268.
- 4) L.S.Darken and R.W.Gurry: "Fe-O equilibrium diagram", J. Am. Chem. Soc., 68(1946)798.

Table 2 Manufacturing cost of clean ferrites.

	Clean ferrites	Conventional Cu-Zn ferrites
Raw material	◎	×
Sintering	×	○
Resistance adjustment	Necessary or not necessary △	Not necessary ◎
Total cost	○	○

- 5) 清山哲郎著：金属酸化物とその触媒作用：無機化学的アプローチ，講談社，(1978).
- 6) U.S.A.Patent5512195: "Process for producing single phase magnetite powder".
- 7) T.mochizuki: "Clean carrier cores for electrophotography", J. Phys. IV France 7, (1997).
- 8) U.S.A.Patent5538656: "Magnetic oxide and process for producing same".