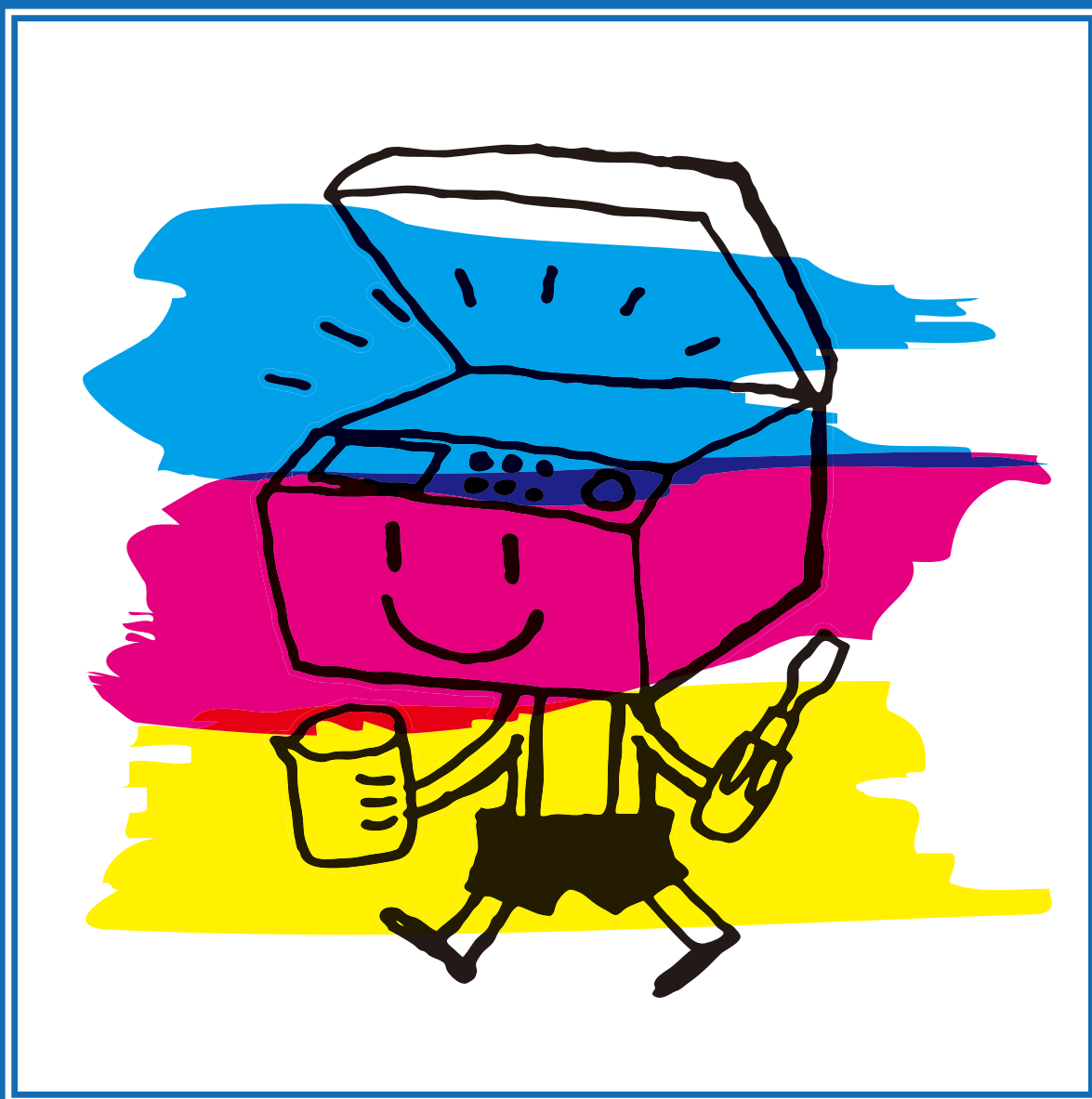


カラーコピーの秘密

大解剖!



RICOH SCIENCE CARAVAN

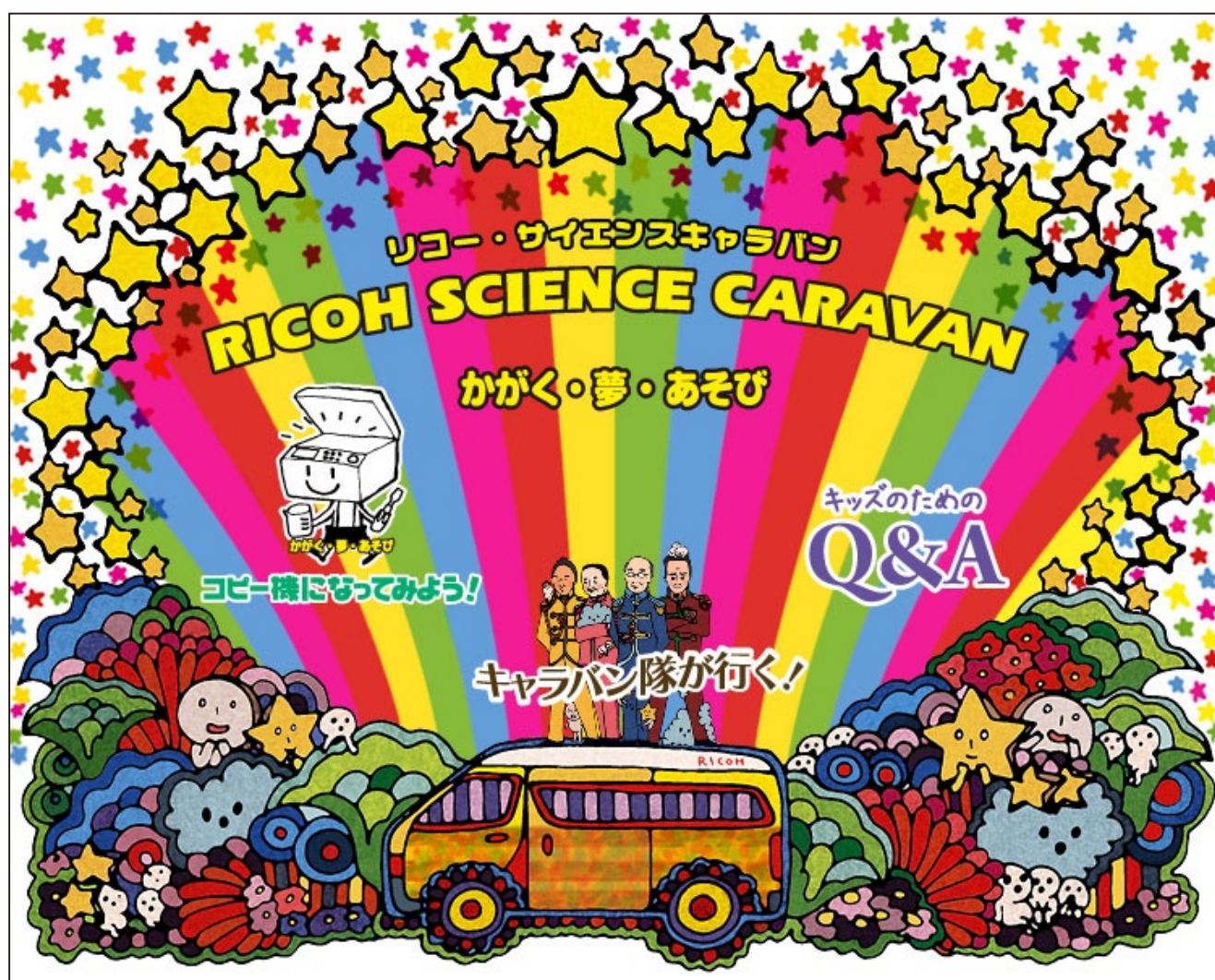
リコー・サイエンスキャラバン 大解剖 シリーズ

はじめに

日本の科学技術で作られたモノは、日本のみならず世界の人々から、高い信頼を受けています。「日本で作られたモノ」ということで世界の人々は安心して使っています。この信頼は、長い年月にわたって多くの人々が「より良いモノ」を目指して知恵を出し、挑戦し続けてきた結果、得られたのです。その挑戦は今も様々な分野で、休むことなく続いています。

21世紀は日本はどんな国に発展していくのでしょうか。100年という期間では、今はできないことができるようになるでしょうし、考えもしなかったことができるようになっていくのではないのでしょうか。それを考えるとワクワクしますね。21世紀を引っばっていくのは、ここにいる皆さんです。皆さんが日本の科学技術を引き継ぎ、さらに大きく発展させて様々な分野で力を発揮して、日本のみならず世界の人々に「大きな感動を与えるモノ」を生み出してくれることを願っています。

サイエンスキャラバン隊 タカハシ博士



サイエンスキャラバン隊ホームページ (www.ricoh.co.jp/kouken/science_caravan/)

目次

1. カラーコピー機を知っていますか？ p. 03

2. 光と色の秘密 p. 04

3. 物の色と目の秘密 p. 08

4. 色重ねの秘密 p. 18

5. フィルターによる色分解の秘密 p. 18

6. カラーコピー機の秘密 p. 18



最新型リコー・デジタルカラー複合機 imagio MP C4500 it

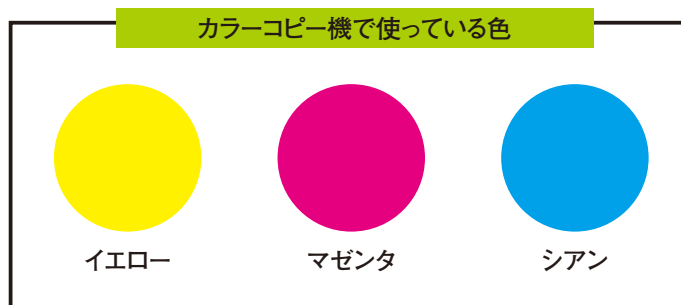
1. カラーコピー機を知っていますか？

コピー機は原稿を写して原稿と同じものを自分の欲しい枚数作り出す機械です。皆さんはコピー機でコピーをとったことがありますか？原稿しています。

カラーコピー機はカラーのコピーを素早く作る機械です。どういう仕組みでカラーのコピーが素早くできるのか知っていますか。

原稿には、たくさん色がありますね。皆さんは絵を描くとき12色とか24色などのたくさん色を使って絵を描いていますね。カラーコピー機は、下の図に示す三つの色でたくさん色を作りだしています。

実際は黒をまじえた4色を使っていますが、原稿のいろいろな色は、下の図の3色で作られています。どうしてでしょうね？



また、カラーコピーの画像を拡大してみると、小さな色の点がたくさん見えます。印刷した本や雑誌、あるいはテレビ画面も、目をこらしてよく見ると同じような小さな点がたくさん見えます。どうしてでしょうね？



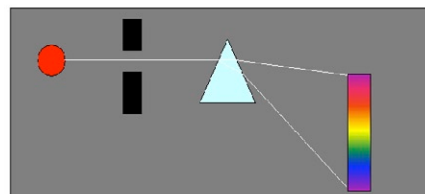
今日は、カラーコピー機の秘密を調べてみましょう。そのためには「光と色の秘密」「物の色と目の秘密」など、いくつかの「秘密」について考え、知っておくことが必要になります。そうするとカラーコピー機に隠された秘密が見えてきます。

2. 光と色の秘密

2-1 光の分解と光の三原色

2-1-1 ニュートンの実験

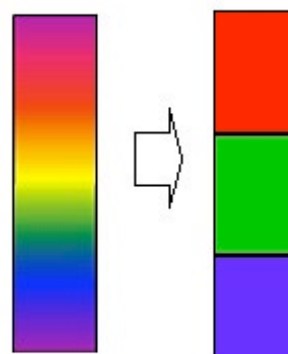
1666年にイギリスのニュートンという人が、プリズムを使って太陽の光を分解することに成功しました。白色に見える太陽光を分解することで、たくさん色が現われ、当時の人々は驚きました。ニュートンは、白色光の中に多数の色光が含まれており、人間の目にはそれらの色光をそれぞれ感じる神経があって、物から反射してくる色を受けとめているのだという説明をしました。



2-1-2 ヤングの仮説

1801年ごろ、イギリスのヤングという人は人間の目にはニュートンが言うような、いろいろな色をそれぞれ感じる神経があるわけではない、と考えました。そこで、色光のスペクトルを横に並べて、三分の一ずつに区切ってみて、赤から橙までの色を赤に、黄色から緑あたりをまとめた色を緑、青から紫までを青（青紫）にまとめ、これら三色の色を感じる神経細胞があり、「神経細胞の感じ方の強弱で、いろいろな色を感じる」のではないかと推理しました。

でも、当時はプリズムの実験はできても目の色を感じる神経細胞を探し当てることはできなかったため、信じてはもらえませんでした。



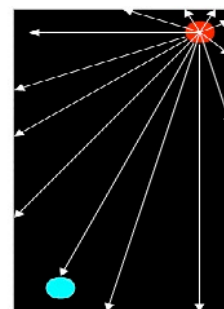
2-1-3 マクスウエルの実験と加法混色

1860年、イギリスのマクスウエルは画期的な実験を行ないました。ヤングの説に基づき、幻燈機に色の付いたフィルターをつけることで赤、緑、青（青紫）の色光を作り出し、これをスクリーンに投影して重ね合わせました。この実験によって、三色の色光が重なった部分は真っ白になりました。色光を重ねることによっていろいろな色が現われました。白光にたくさん色が含まれているニュートンの説や、それらの色光を三色の基本の色にすることができるというヤングの仮説が正しかったことが、この実験によって証明されました。この赤、緑、青を「光の三原色」といい、この光の三原色の混合（重ね）は、混合するほど色が明るくなっていき、最終的には白色になります。これを、加法混色といいます。

2-2 光の性質

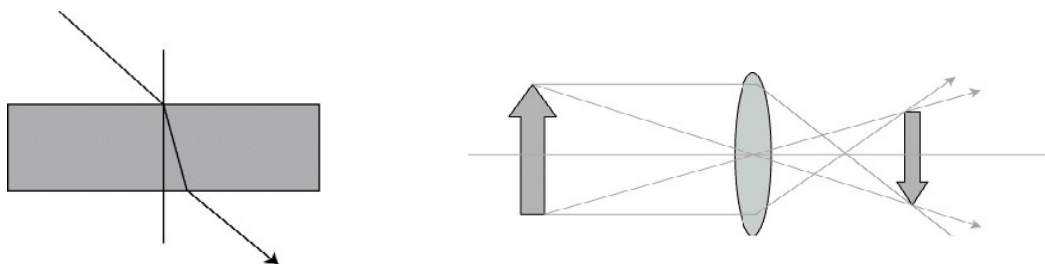
2-2-1 光の直進性

光は真空中を一秒間に約 30 万 Km という高速度でまっすぐに進む性質があります。これは一秒間に地球を約七回半まわる距離に相当します。地球と宇宙の星との距離を表すのに、1 光年とか 1 億光年といった、「光年」という単位が使われています。1 光年とは光が 1 年間に進む距離のことです。1 億光年離れている星であれば、「一億年かけて光が地球に到達する距離」ということになります。途方もなく遠い距離ですが、この間になにも無ければ（真空）光は直進し続けます。



2-2-2 光の屈折

光は真空中でまっすぐに進みますが、プリズムの実験で光が曲がった（これを屈折といいます）ことを確認しました。光は、空気中からガラスに入る時、またガラスから空気中に出るときのように、違った物質の境界面で屈折（曲がる）する性質があります。1621 年、オランダのシュネルという人が、この屈折の程度は物質の組合せ（例えば空気とガラス）で定まった関係があることを発見しました（シュネルの法則）。この光の屈折を使っている代表的なものがレンズです。

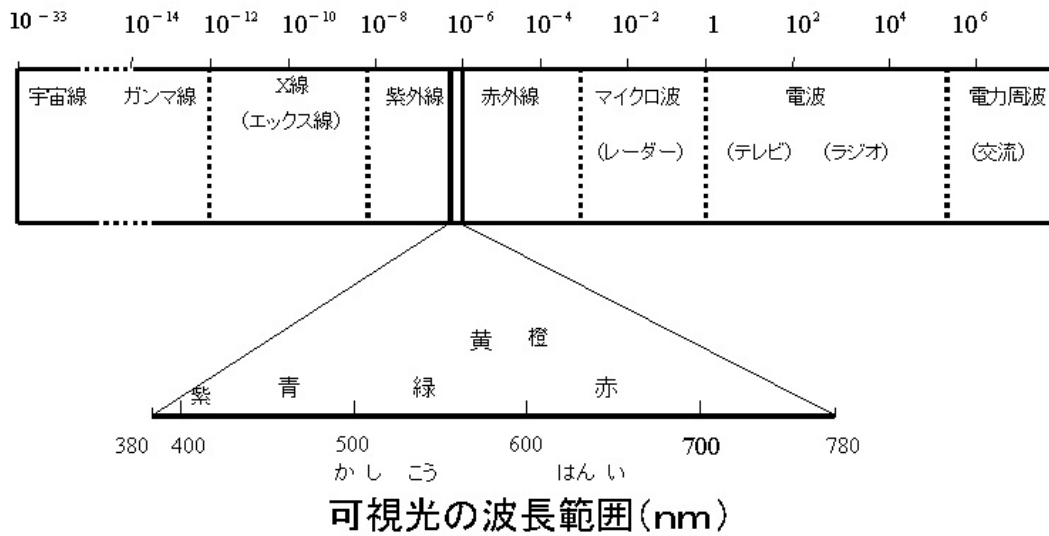


2-2-3 光は電磁波の 1 種

1665 年、イギリスのフックという人が、自身の研究から光は横波であると提起しました。その後、1801 年にヤングが実験（光の干渉現象を確認）によって光が波であることを決定付けました。さらにその後、1873 年マクスウエルが光は電磁波の一種、つまり波であることを明らかにし、その理論を完成させました。

次のページに電磁波の種類と波長範囲を示しました。これらの範囲は明確な線で仕切られているわけではなく、実際は重なり合っています。人間が光として感じる可視光の範囲は非常に狭い範囲でしかありません。また、これらの電磁波は真空中を一秒間に約 30 万 km の速さで進みます。

でんじは はちょう
電磁波の波長(m)



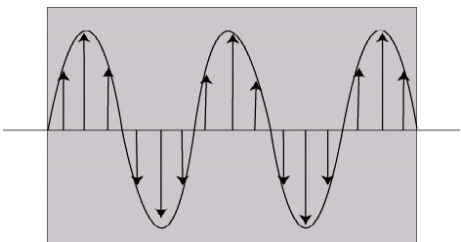
上図の電磁波のうち、人間が見える範囲の光を可視光とよび、光を波長（色）の順番に並べたものをスペクトルといいます。人間が見える光の波長範囲は一般に 380nm から 780nm の範囲といわれています（厳密には個人差があります）。また、欧米人やアジア人といった人種のあいだにも見える波長範囲に差があります。

ここで大切なことは、人が色を感じるのであって、光には色はないということです。光にあるのは波長と真空中を 30 万 Km の速さで進むということだけです。380nm から 780nm の光が目に入ってくると、人は色を感じるということです。どのような仕組みになっているのか、のちほど説明します。

nm は長さの単位で、「ナノメートル」と読みます。
1nm は 1m の 10 億分の 1 の長さで、 10^{-9} m と書きます。

2-2-4 光は横波

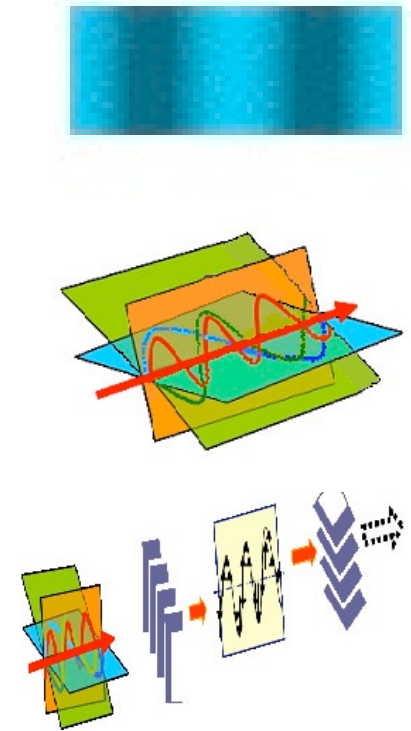
波には横波と縦波があります。横波は波を伝える媒質（例えば光とか、ギター弦など）が波の進行方向と垂直に振動する波をいい、このような波の進行を含む面を偏波面とよんでいます。光やギター弦などの振動も横波です。



縦波は媒質（例えば空気）の振動方向と波の進行方向とが同じである波（疎密波）を言います。例えば、空気を媒質とする「音波」は、空気の密度の振動が伝播するもので縦波です（音波は気体、液体、固体などの振動する波で、電磁波ではありません）。

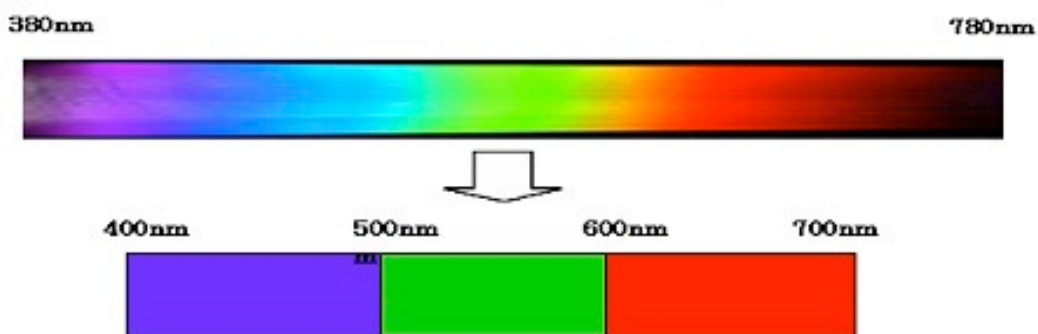
光は自然界においては、光の進行する軸に対して 360 度全ての方向に偏波面をもっています。波長も 380nm から 780nm の範囲を含んだものとなります。

光が横波であることは、偏光板という透明な薄いシートを使った実験から証明されます。偏光板は光の進行方向に直角に配置すると、一方向に偏光している光の波だけを通すことができます。右の図のように光の進行方向に偏光板を直角に配置し、一方向に偏光した光だけを通過させ、次に 90 度回転させた偏光板を配置すると光は通過できないことが確認されます。このことから光は横波であることが証明されました。



2-2-5 光の三原色と波長範囲の関係

こうして、光は波であることがわかりました。ここでは光の三原色と波長との関係を整理しておきましょう。人間が光として感じる波長範囲は 380nm から 780nm くらいといわれていますが、人によって、人種によって違いがあります。一般的には 400nm から 700nm として扱っています。そして青は 400nm から 500nm、緑は 500nm から 600nm、赤は 600nm から 700nm となります。これは言い換えれば、400nm から 500nm の波長の光が目に入ると青に見え、500nm から 600nm では緑に見え、600nm から 700nm では赤く見えるということです。



3. 物の色と目の秘密

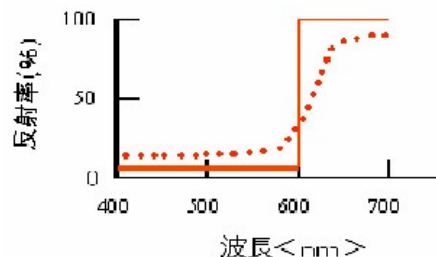
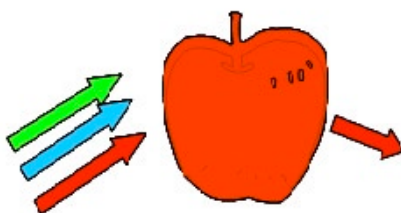
光は電磁波の一種であり、実際のところ光には色はなく、あるのは波長と真空中を1秒間に約30万kmの速さで進むという事実だけです。電磁波の波長は波長の短いガンマ線や宇宙線から電力周波まで、非常に広い範囲にわたっていますが、色として感じるのは狭い波長範囲でしかありません。このことは先ほど出てきた波長範囲を表した図からもわかります。これは目の働きと密接な関係があります。ここでは「物の色と目の働き」について考えてみましょう。

3-1 物の色

「木に実っているリンゴ」は赤く、「風にそよぐ木の葉」は緑に、「晴れ渡った空」はなぜ青にみえるのでしょうか？前の章でわかったことをもう一度思い出してみましょう。「400nm から 500nm の光が目に入ると青に見える、500nm から 600nm の光が目に入ると緑に見え、600nm から 700nm の光が目に入ると赤に見える」でした。物の色は太陽光などの光が物にあたり、ある波長の光は吸収され、特定の波長の光が反射して目に飛び込んできたものです。その反射光の波長で物特有の色を感じる、ということを見ていきましょう。

3-1-1 赤いリンゴ

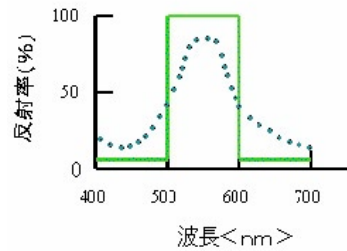
真っ赤なリンゴは 400nm から 600nm の光を吸収し、600nm から 700nm の光を反射しています。その反射光が目に入ると赤く見えます。実際は、赤といってもいろいろな赤があります。



ここで、理想の赤色の反射、吸収の形をグラフで表わしてみましょう。ここで「吸収する」という現象は「反射しない」という現象と同じ意味ですので、グラフの縦軸は反射率で表わすことにします。理想の赤色は400nm から 600nm の波長に対して反射率 0%、600nm から 700nm の波長では反射率 100%ですから、図の赤い実線の形になります。現実には、このような理想的な形はありませんが、色と波長の関係が理解しやすいので、よく使用されます。現実には図の赤い破線のような形になり、真っ赤なリンゴの色も破線に近い形になります。

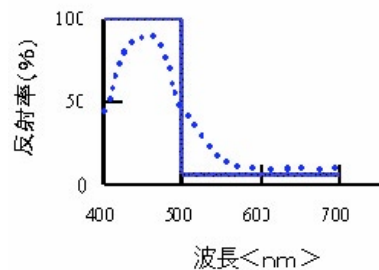
3-1-2 緑の葉っぱ

木の葉っぱが緑に見えるのは、400nm から 500nm の光と 600nm から 700nm の光を吸収し、500nm から 600nm の光を反射して、それが目に入って緑に見えるわけです。実際は緑といってもいろいろな緑があります。ここでリンゴの時と同じ考え方で「理想の緑色」の反射の形をグラフにしてみましょう。理想の緑色は 400nm から 500nm の光を吸収し（反射率 0%）、500nm から 600nm の光を 100% 反射し、600nm から 700nm の光を吸収（反射率 0%）するので、緑の実線のような形になります。しかしながらこのような理想の形をした色はありません。現実には破線のような形になります。木の葉っぱの鮮やかな緑色も破線のような形になります。



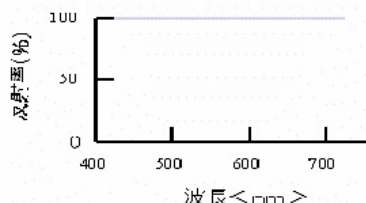
3-1-3 青い空

青い空は 400nm から 500nm の光を多く反射し、500nm から 700nm の光の多くを吸収していることになります。ここで「理想の青色」をグラフにしてみると青の実線の形になります。これも理想の形で現実にはありません。実際は破線のような形になり、青い空も破線のような形と考えられます。



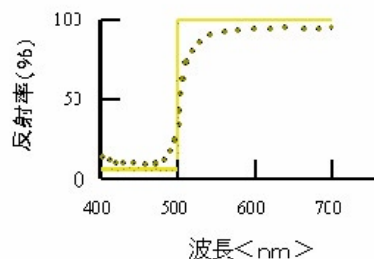
3-1-4 真っ白い雪だるま

雪だるまは真っ白に見えます。真っ白に見えるということは、400nm から 700nm の光を反射し、それが目に入って白く見えるのです。これをグラフにしてみると、図のように表わせます。このグラフは青と緑と赤のグラフを合わせるとできる形です。マクスウエルの光の重ね実験でも青と緑と赤を重ね合わせると白になりました。



3-1-5 黄色いレモン

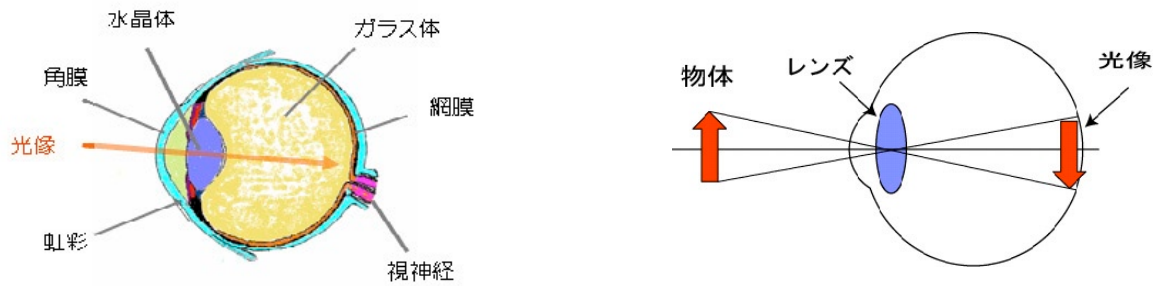
レモンが黄色に見えるということは、緑と赤に相当する波長の光を反射し、それが目に入って黄色と感じているわけです。つまり、400nm から 500nm の波長を吸収して、500nm から 600nm と 600nm から 700nm の波長の光を反射していることとなります。グラフにすると右のようになります。またこのグラフの形は、赤と緑のグラフを重ねるとできます。マクスウエルの実験でも赤と緑の重ねで黄色になりました。もっとも、これも理想な形で、実際のレモンは点線のような形と考えられます。



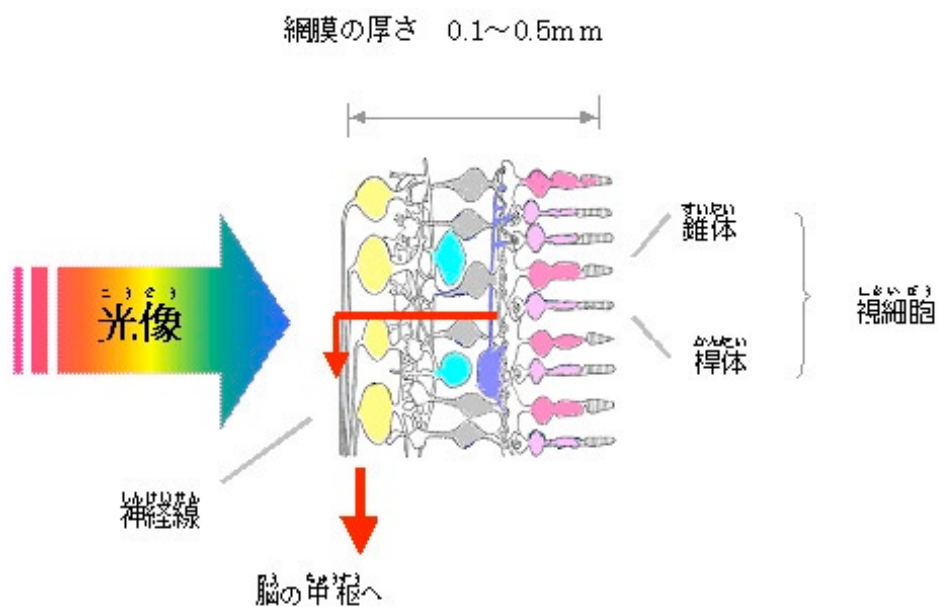
3-2 目の構造

物の色は、「物からの反射光が目に入って色を感じる」ことを知りました。400nm から 500nm の反射光が多ければ青っぽく感じ、500nm から 600nm の反射光が多ければ緑っぽく感じ、600nm から 700nm の反射光が多ければ赤っぽく感じるということでした。今度は、目の構造を見てみましょう。

外からきた光は、角膜、水晶体、ガラス体と通り、網膜に達して、網膜に光の像を作ります。この仕組みはレンズで像を作る作り方と同じです。網膜上にできた光像から物の色だけでなく、物の形や大きさ、遠くにある物なのか近くにある物なのかなどを読み取っています。



網膜の構造は上の図に示したように複雑です。ここでは色を感じる構造を簡単に見てみましょう。光像は網膜表面に結像されます。網膜は透明で薄くてきているので光像は網膜を通して一番奥に到達します。ここには桿体と錐体という光を感じる視細胞があります。桿体は明暗を感じる機能を有し、2種類の感光色素が含まれています。錐体は光の波長を感じる機能を有し、やはり2種類の感光色素が含まれています。それらの感光色素は青や緑や赤に相当する波長から光エネルギーを受けると光化学反応を起こし、刺激されます。その刺激信号が図の赤い矢印方向に順次伝えられて脳の中樞に送られ、信号処理を行って何色かが判ることになります。



4. 色重ねの秘密

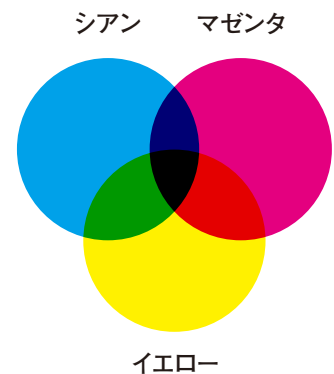
4-1 色の三原色

「2-1-3 マクスウェルの実験と加法混色」では光の三原色である青光、緑光、赤光を重ねあわせることでたくさん色を作り出せることを知りましたが、色材でも3色でたくさん色を作り出すことができます。この三色を「光の三原色」に対して、「色の三原色」といい、イエロー、マゼンタ、シアンといいます。

4-2 色の三原色の重ね

色の三原色を重ねあわせることで、いろいろな色を作り出せます。

シアンとマゼンタで青に、マゼンタとイエローで赤に、イエローとシアンで緑になります。光の三原色と色の三原色の重ねでの大きな違いを確認しておきましょう。光の三原色は、色を重ねるたびに色がだんだん明るくなり、最終的には白になりましたね。これを加法混色といいました。色の三原色は、重ねるたびに色がどんどん暗くなり、最終的に黒になります。これを減法混色といいます。



4-3 色の三原色と光の三原色の関係

「色の三原色」と「光の三原色」とは密接な関係があります。例えば、光の三原色である赤、緑、青の色光の重ね実験から、色の三原色である、シアン、マゼンタ、イエローができました。

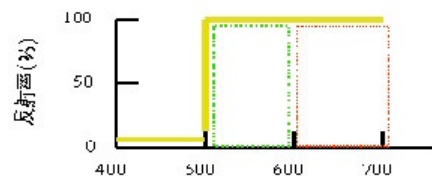
ここから、「色の三原色」は「光の三原色」のうち、2色を組み合わせた色であることがわかります。そして「色

赤と緑を重ね合わせるとイエロー
緑と青を重ね合わせるとシアン
青と赤を重ね合わせるとマゼンタ

の三原色」と「光の三原色」とで、色の反射と吸収の関係がまったく逆の関係にある色どうしを「補色関係にある」といいます。このことを波長の形から確認してみましょう。

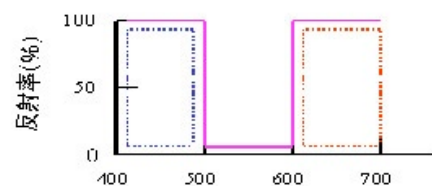
イエローと青は補色関係

イエローは緑と赤の色光を組み合わせた色です。緑と赤を反射し、青を吸収しています。ですから、イエローと青とは補色関係です。



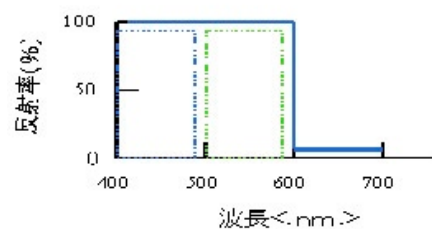
マゼンタと緑は補色関係

マゼンタは青と赤の色光を組み合わせた色です。青と赤を反射し、緑を吸収しています。ですから、マゼンタと緑は補色関係です。



シアンと赤は補色関係

シアンは青と緑の色光を組み合わせた色です。青と緑を反射し、赤を吸収しています。ですから、シアンと赤は補色関係です。

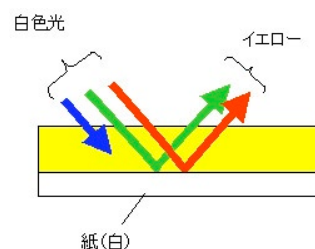


4-4 インクの色

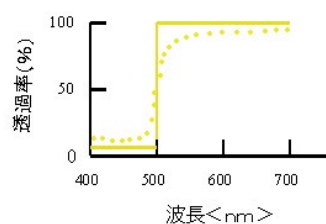
インクとして説明しますが、カラーコピー機で使われている色材をトナーと呼んでいます。トナーもインクも色としての性質は、基本的に同じと考えてください（トナーについては、6-4-3 で説明します）。ここでは、紙の上に塗られたインクの色について考えてみましょう。インクの色は、照射された光の中から、ある色光を吸収し、ある色光を透過させることによって生まれるものです。

4-4-1 イエローインク

インクに照射された光のうち、青色に相当する光はインクに吸収され、緑と赤に相当する光がインク層を通過して紙の面に到達します。紙は白色なので到達した色光は反射されます。反射された色光がまたインク層を通過して、目に入りイエローに見えることとなります。



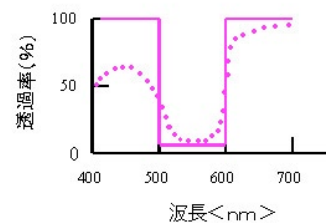
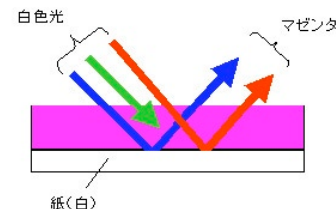
この黄色インクの光の吸収と透過の関係をグラフにしてみましょう。「3-1 物の色」で作ったグラフの縦軸は物からの反射光の多い少ないを示す反射率で作成しましたが、インクは光が透過しやすいか、しにくいを示す透過率で作成します。透過と反射という違いがありますが、共に目に届く光の量の多い少ないを示すもので、同じと考えてください。図からイエローは400nmから500nmの青色を吸収して、透過率が小さな値を示していることが判ります。また、図はイエローインクの理想の形で、現実的には点線で示したような形になります。



4-4-2 マゼンタインク

紙に塗られたマゼンタインクに照射された光のうち、緑色に相当する光がインクに吸収され、青と赤に相当する光がインク層を通過して紙の面に到達します。紙は白色なので到達した青と赤の色光を反射します。反射された色光がまたインク層を通過して、目に入るとマゼンタに見えることになります。

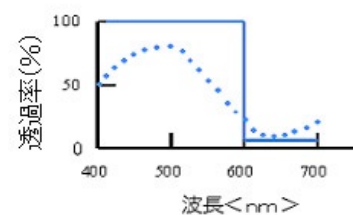
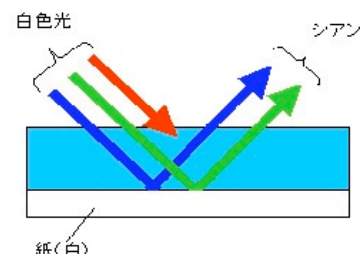
マゼンタの吸収と透過をグラフに表わすと右図のようになります。500nm から 600nm の緑光を吸収して透過率が小さな値を示していることが判ります。実線は理想的な形です。現実的には点線で示したような形になります。



4-4-3 シアンインク

照射された光のうち、赤色に相当する光がインクに吸収され、青と緑に相当する光がインク層を通過して紙の面に到達し、同様に紙で反射され、またインク層を通過して目に入るとシアンに見えることになります。

シアンの吸収と透過をグラフに表わすと、右図のようになります。600nm から 700nm の赤い光を吸収して透過率が小さな値を示していることが判ります。実線は理想的な形です。現実的には点線で示したような形になります。

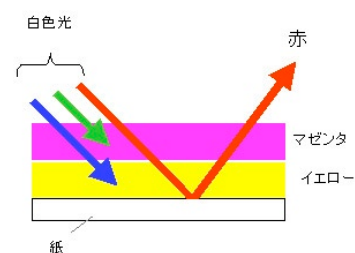


4-5 インクの色重ね

カラーコピー機を使って行なった色重ね実験を思い出しながら、インクの色重ねによってできる色の仕組みを考えていきましょう。

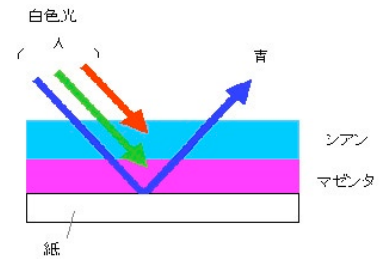
4-5-1 イエローとマゼンタの色重ね

白色光のうち、緑光はマゼンタに吸収され、青光と赤光がイエローに到達しますが、青光はイエローに吸収されて、赤光のみがイエローを透過して紙の面に到達し、紙に反射されて再びイエロー、マゼンタを透過し目に入り、赤と認識されることになります。



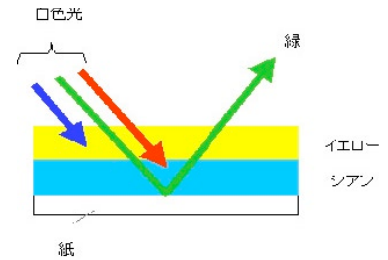
4-5-2 マゼンタとシアンの色重ね

白色光のうち、赤光はシアンに吸収されて緑光と青光がマゼンタに到達しますが、緑光はマゼンタに吸収されて、青光のみがマゼンタを透過して紙面に到達し、紙に反射されて再びマゼンタ、シアンを透過して目に入り、青と認識されることとなります。



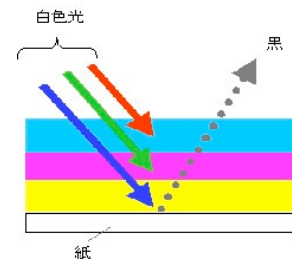
4-5-3 シアンとイエローの色重ね

白色光のうち、青光はイエローに吸収されて赤光と緑光がシアンに到達しますが、赤光はシアンに吸収されて、緑光のみがシアンを透過して紙面に到達し、紙に反射されて再びシアン、イエローを透過して目に入り、緑と認識されることとなります。



4-5-4 イエロー、マゼンタ、シアンの色重ね

白色光のうち赤光はシアンに吸収され、緑光はマゼンタに吸収され、青光はイエローに吸収されて、紙の面に色光は到達しません。したがって、反射してくる色光がありませんので黒く見えることとなります。



5. フィルターによる色分解の秘密

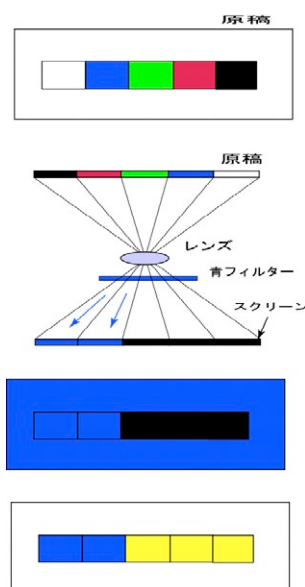
原稿のさまざまな色をイエロー、マゼンタ、シアンの3色で作り出すためには、原稿の一つ一つの色に対してイエローやマゼンタ、シアンなどの色をどのくらいの量、重ねるのか判断しなければなりません。これを行なっているのが光の三原色である青、緑、赤のフィルターによる色分解というやり方です。この色分解の基本的な原理を調べてみましょう。

5-1 青フィルターによる色分解でイエローを重ねる

原稿が右の図のように黒、赤、緑、青、白（紙の色）の各5色からできています。今、原稿を白色光で照明し、原稿からの反射光はレンズと青フィルターを通過して、スクリーン上に像を作るものとします。

青フィルターは400nm～500nmの青光のみ透過し（通り抜けることができ）、500nm～700nmの緑や赤の色光は透過できません。また、黒部からはもともと反射光がありませんので、原稿からは白部と青色部からの青光がスクリーン上に投影され、右の図のような像になります。

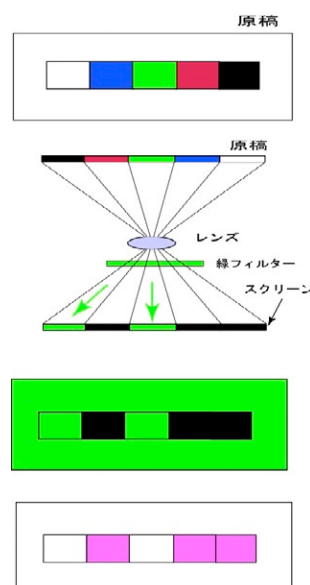
この黒い部分がイエローを含んでいる色になります。それも黒の濃度が濃いほどイエローをたくさん含んでいることになり、濃いところには多く、薄いところは少なくなるように調整してイエローを重ねることになります。



5-2 緑フィルターによる色分解でマゼンタを重ねる

「5-1 青フィルターによる色分解」と同様の方法ですので、要点のみ説明します。

原稿からの反射光を緑フィルターを介して色分解します。緑のフィルターは500nm～600nmの色光を透過し、400nm～500nmの青光と600nmから700nmの赤光を吸収します。黒部からはもともと反射光がありませんので、原稿からは白部と緑部からの緑光がスクリーンに投影され、右の図のような像になります。図の黒いところはマゼンタを含んだ色ですので、黒さに応じてマゼンタを重ねることになります。

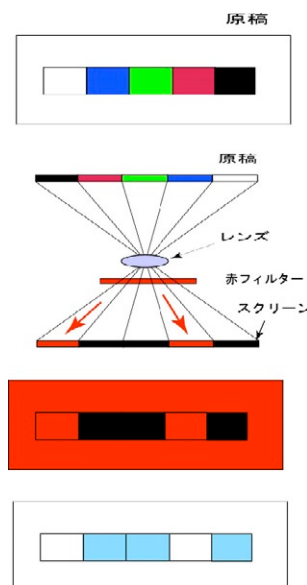


5-3 赤フィルターによる色分解でシアンを重ねる

ここも、「5-1」青フィルターによる色分解」と同じ方法ですので、要点のみ説明します。

原稿の光像を赤フィルターを介して色分解します。赤のフィルターは600nm～700nmの色光を透過し、400nm～600nmの青光と緑光を吸収します。黒部からはもともと反射光がありませんので、原稿からは白部赤部からの赤光がスクリーンに投影され右の図のような像になります。

図の黒いところはシアンを含んだ色ですので、黒さに応じてシアンを重ねることになります。



5-4 色重ね

色分解でイエロー、マゼンタ、シアンのそれぞれの単色の像ができました。それによってできたものを右に並べましたが、それらを重ねあわせて原稿の色が作成できるか確認してみましょう。

黒はイエロー、マゼンタ、シアンの三色の重ねになりますので、黒が作成できます。

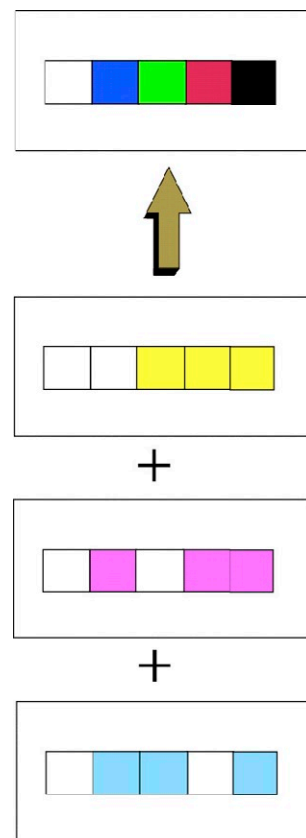
赤はイエローとマゼンタの重ねになりますので、これも赤が作成できます。

緑はイエローとシアンの重ねになりますので、これも緑を作成できます。

青はマゼンタとシアンの重ねになりますので、これも青を作成できます。

原稿の白は重ねる色がありませんので、紙の白色となります。これで原稿の色を作成できることが判りました。

このやり方は、印刷やプリンターやカラーコピー機での色の出し方と基本的に同じです。なお、印刷でもカラーコピー機でも、イエロー、マゼンタ、シアンの「色の三原色」のほかに、ブラック（黒色）を使っています。その理由は、文字など黒い画像は、わざわざ色の三原色を重ねて黒を作るより、単色のブラックインク単色で作ったほうが簡単だからです。三色重ねて黒を作るには、三色の濃度バランスがうまくとれてないと赤っぽい黒や、青っぽい黒になってしまいます。また、重ねる位置がぴったり合わないと、印刷物やコピーが読みにくくなります。ブラック単色で作る場合はそのような心配がありません。カラーコピー機は原稿の中から、黒の部分を実自動的に読み取ってブラック単色でコピーできるように工夫されています。



5-5 網点

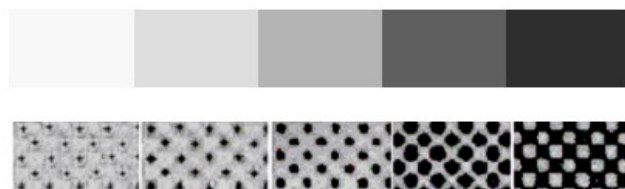
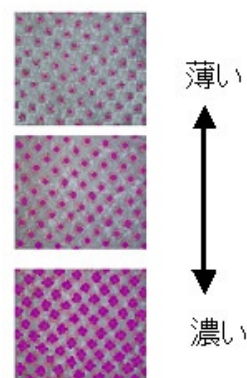
フィルターによる色分解は、さまざまな原稿の色をシアン、マゼンタ、イエローの三原色の成分に分けるための手段であることが判りました。

ここで一つ問題があります。例えば、赤といっても薄い赤や濃い赤など色の明るさ（明度）は様々ですね。同じインクの量を重ねても、様々な濃さの色を作ることはできません。皆さんは絵の具を使って絵を描くときどうしていますか。薄い赤はどのように作っていますか。白の絵の具を少し混ぜるとか、水を加えて薄めるとか、していますね。でも、印刷ではこのようなことはできません。

印刷ではどうしているのでしょうか。印刷物を虫眼鏡などで拡大してみると小さな点がたくさん見えましたね。この点を網点といいます。この網点の大きさを三原色を混ぜ合わせる割合を変え、それによって色の濃さや様々な色合いを作り出しているのです。

例えば印刷のマゼンタの部分拡大すると右の図のように見えます。薄いマゼンタのところは網点が小さく、濃いマゼンタのところは網点が大きくなっています。

下図は白黒の濃度が段階的に濃くなっている写真とその写真の一部を拡大したものです。濃いところは網点が大きく、薄いところは網点が小さくできていることが判ります。滑らかに見える画像も、このような小さな点の集まりで作られています。



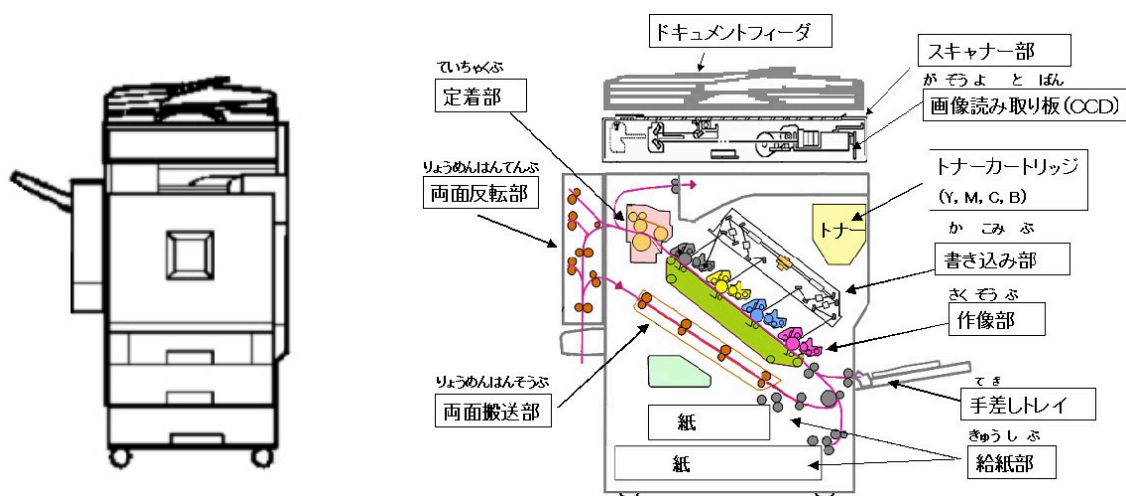
以上で、「カラーコピー機の秘密」を解き明かす準備はできました。次章から「カラーコピー機の秘密」について、調べていくことにします。

6. カラーコピー機の秘密

いままで「光と色の秘密」「物の色と目の秘密」「色重ねの秘密」「フィルターによる色分解の秘密」など四つの「秘密」について調べ、いろいろなことがわかってきました。カラーコピー機は、これらの秘密をうまく活用しているのです。どのように活用しているかを調べていきましょう。

6-1 カラーコピー機の概要

カラーコピー機の外観図と主要な構成ユニットの配置を示しました。各構成ユニットの働きについて簡単に紹介します。



原稿台に載せた原稿の色や色の濃さ、形などの画像情報を読み取るのがスキャナ部です。読み取った原稿情報をマゼンタ、シアン、イエローに分解し、各種の画像処理をした後に、その画像情報を受け取ってレーザー光で書き込んでいくのが書き込み部です。それぞれ書き込まれた内容に従ってマゼンタ・トナーやシアン・トナー、イエロー・トナー、ブラック・トナーで現像し、給紙部から送られてくる紙に順次重ねて転写していくのが作像部です。紙に重ねて転写されたトナーを紙からはがれないようにするのが定着部です。これらの一連の動作を繰り返し、要求された枚数分、コピーしていくことになります。

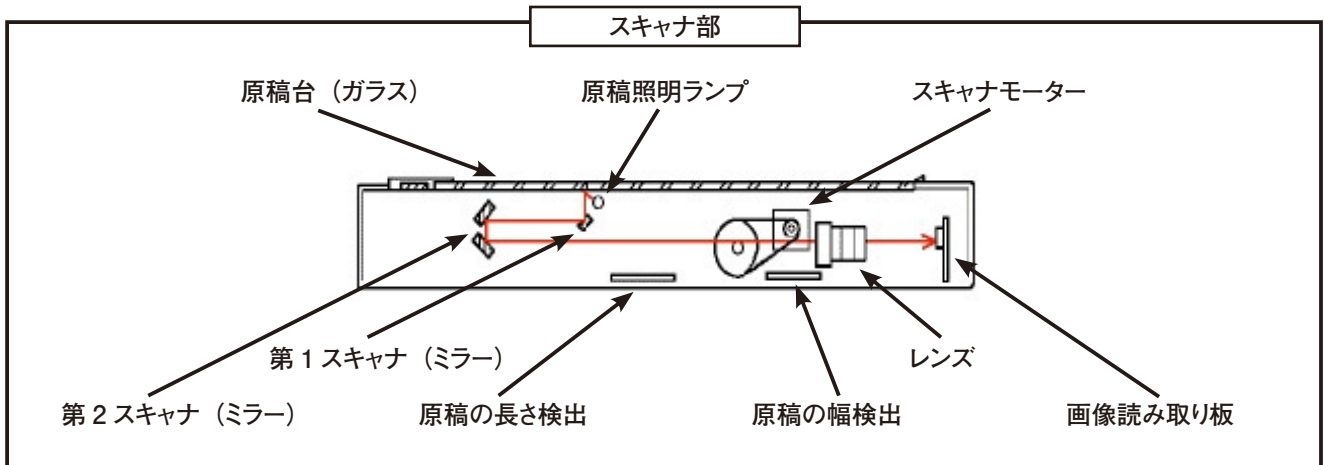
カラーコピー機の主要部の働きについて、もう少し詳しく調べていきましょう。

6-2 スキャナ部による原稿画像情報の読み取り

まず、最初に機械がすべきことは、コピーすべき原稿の画像情報を読み取らなければなりません。例えば、原稿のサイズや、原稿のどの位置にどんな色のどんな濃さの画像があるかなどです。そして、これらの情報を全て取り込んで、記憶させておく必要があります。

これから説明する内容は、3-2 で調べた「目の構造」と5での「フィルターによる色分解」の方法に似ていますので、それを思い出しながら、カラーコピー機の構造を見ていきましょう。

下図に示したのは、カラーコピー機のスキナ部です。原稿台上に載せられた原稿は照明ランプで照らされて、その反射光は図の赤い線のようにミラーで反射され、レンズを通して画像読み取り板に原稿の像が映し出されます。ここで原稿の画像が読み取られます。読み取った画像情報は画像処理部に送られて加工編集されます。



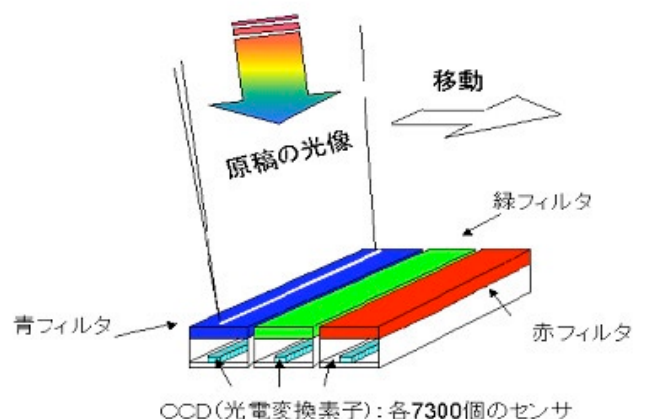
6-2-1 スキナ部の全体構造

上図に示したスキナの動きを簡単に説明いたします。

原稿台上に原稿を載せ、コピースタートボタンを押すと、スキナーモーターが回り始めます。それによって、照明ランプが左から右に向かって動き出し、原稿の検知部からの「原稿の長さ」信号を受けて、原稿の端から端まで照明します。照明された原稿の反射光は第1スキャナ (ミラー)、第2スキャナ (ミラー)、レンズを通して画像読み取り板 (CCD) 上に縮小された光像が帯状に順次投影されます。レンズは目の水晶体、画像読み取り板 (CCD) は目の網膜に相当するものです。目の網膜には光像の形の全体が投影されますが、カラーコピー機では原稿が照明された部分のみが連続的に投影され、それを帯状に読み取っていくことになります。

6-2-2 画像読み取り板の構造

画像読み取り板 (CCD) の構造は右図のようになっています。原稿からの反射光像に含まれる様々な画像情報を目と同じように光の三原色である青、緑、赤に色分解しています。そしてその分解された光像の光の量を CCD (光電変換素子) で電気信号 (電圧の大小) に変換します。色分解は原稿の様々な色が、色の三原色をどのくらい含んでいるかを取り出すのが目的でした。赤フィルターでは、赤の補

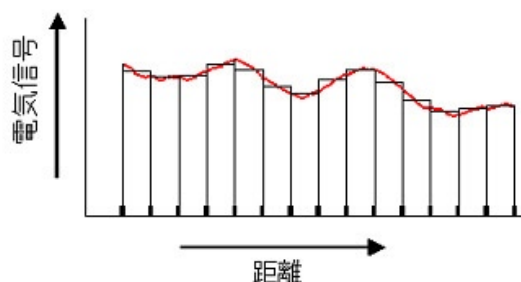
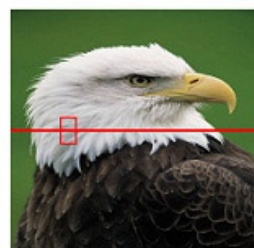


色であるシアンを、緑フィルターでは、緑の補色であるマゼンタを、青フィルターでは、青の補色であるイエローを、それぞれ各フィルターを透過する光量の大小として取り出しています。取り出された光量の大小は CCD によって電気信号に変換されます。

CCD はまさに目の動きをするセンサーです。画像をきれいにコピーするには、このセンサーがどのくらい細かく原稿の情報を読み取れるかが重要となります。この読み取り能力のことを解像度といいます。そして dpi(ディーピーアイ) という単位で表現します。たとえば、400dpi とか 600dpi といった言い方をします。この dpi の意味はドット/インチ (1 インチの中に何個のドットがあるか) の意味で、CCD の場合は、原稿の 1 インチ (25.4mm) の長さを何個のセンサーで読み取っているかをあらわしています。数が大きくなれば、それだけ細かい情報を読み取っていることになり、解像度は高くなります。

キャラバン隊の実験で使っているカラーコピー機の CCD は、7300 個のセンサーが 1 列に並んだ構成をしています。この各センサーは光を電気信号に変換する働きをし、原稿の長さ 1 インチ (25.4mm) あたり、600 個のセンサーで細かく分けて読み取っています。ですから解像度は 600dpi となります。1 個のセンサーで原稿のどのくらいの領域を読み取っているかという、縦横の長さが 0.042mm の正方形という、非常に小さな原稿領域を読み取っています ($25.4\text{mm} \div 600 = 0.042\text{mm}$) 読み込んだ情報はデジタル信号に変換されて、画像処理部に送られます。これは、目の網膜の中にある視細胞 (桿体や錐体など) が受けた光刺激、つまり網膜に投影された情報を脳の中枢に送り込んでいるのと似ています。

右に鳥の写真原稿があります。スキャナで写真原稿の赤の横線部分を CCD で読み込んで、原稿から反射してくる光の量を電気信号に変換しているとします。そして赤い四角で囲った部分の電気信号データを例としてグラフに表わすと、600dpi の解像度の場合、原稿の 0.042mm ごとの幅でデータが取れます。グラフの赤い実線は連続した画像のデータですが、分解能が 0.042mm のため、0.042mm の幅でデータが読み取られます。解像度が高くなればなるほど赤線の連続したデータに近くなります。このように原稿から反射してくる光の量を連続した値ではなく、段階的に区切った値としての電気信号に変換して扱っていきます。



6-2-3 アナログ・デジタル変換

ところで、画像読み取り板 (CCD) で読み取った電気信号そのものは、アナログデータ (10 進法) です。画像処理部で情報を編集するのにアナログデータでは扱いにくいので、0 と 1 の組み合わせからなるデジタルデータ (2 進法) に変換します。コンピュータで扱っているデータは、すべて 0 と 1 の組み合わせからなるデジタルデータです。画像処理部もまさにコンピュータで、脳の中枢に相当します。アナログデータをデジタルデータに変換するのは A / D コンバータという変換器を使います。

ここでデジタルデータについて、少し説明いたします。皆さんが学校の算数で勉強している数字は 10 進法といい、10 倍ごとに桁が上がります。1、10、100、1000 といった具合です。デジタルで扱うのは 2 進法です。2 進法では 2 倍ごとに桁が上がります。1、2、4、8 といった具合です。10 進法の数字が 2 進法だとどのようなになるか下表に示しました。

10進法	2進法								電気パルス信号								
	8	7	6	5	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2	1	
1								1									1
2							1	0									1
3							1	1									1
4						1	0	0									1
5						1	0	1									1
6						1	1	0									1
7						1	1	1									1
8					1	0	0	0									1
9					1	0	0	1									1
10					1	0	1	0									1
255	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

8ビット = 1バイト

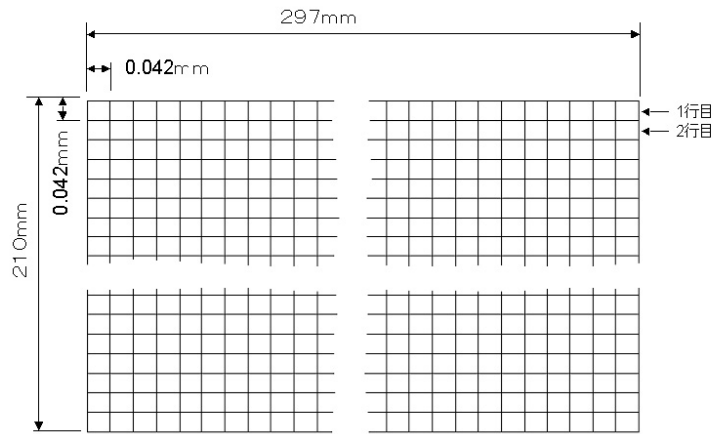
このように 2 進法では、数を 0 と 1 の組み合わせで表わします。こうするとコンピュータの中でデータのやり取りを行う時に、1 の時は電気パルスを作り、0 の時はパルスがない状態にすればよく、0 と 1 の組み合わせであらゆる情報を編集・加工することができますので便利なのです。また、情報の最小の単位をビットといいます。1 ビットは、0 か 1 の二通りの状態を表現できます。通常これを 8 桁並べた 8 ビットを 1 バイトといい、情報の単位としてはバイト単位で処理を行なっています。

6-2-4 画像処理

画像処理部では得られた原稿の画像情報に対し、さまざまな複雑な処理を行っていますが、ここでは CCD で読み込まれた画像の濃さをどのように表現しているか見てみましょう。印刷物などでは、網点の大きさに濃淡を表現していました。カラーコピー機でも同じような方法が行われています。

カラーコピー機の原稿台に A4 の大きさ（横 297mm×縦 210mm）の原稿を横に置いたとします。CCD の一つのセンサーで読み取る原稿の領域は約 0.042mm の正方形の面積ですが、CCD に含まれる 7300 個のセンサーのうちから横の 297mm に相当する 7016 個のセンサー（ $297 \div 25.4 \times 600 = 7016$ 個）を使って、横一列を 600dpi の解像度で 1 行目から順番に読み込んで、原稿からの反射光の量の大小を電気信号に変換していきます。これは原稿の濃淡を電気信号に変換することと同じ意味です。

今、原稿の濃淡を 16 段階（0 レベルが白、15 レベルが最高濃度）に表現するものとして、そして右図の縦横の四つの升目のデータから、下に示すような、濃度が 5 レベルと 8 レベル、11 レベルの濃度データが得られたとします。この得られた濃度データを一定の規則にしたがって配列された基準値と比較して基準値に等しいか、それ以上であれば升目を色付(1)とし、それ以下であれば色無(0)とします。そうすると、濃度の大小は、色付面積の大小に変換されます。



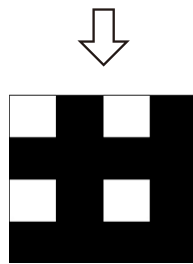
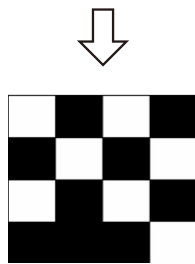
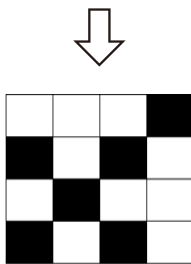
5	5	5	5
5	5	5	5
5	5	5	5
5	5	5	5

8	8	8	8
8	8	8	8
8	8	8	8
8	8	8	8

11	11	11	11
11	11	11	11
11	11	11	11
11	11	11	11

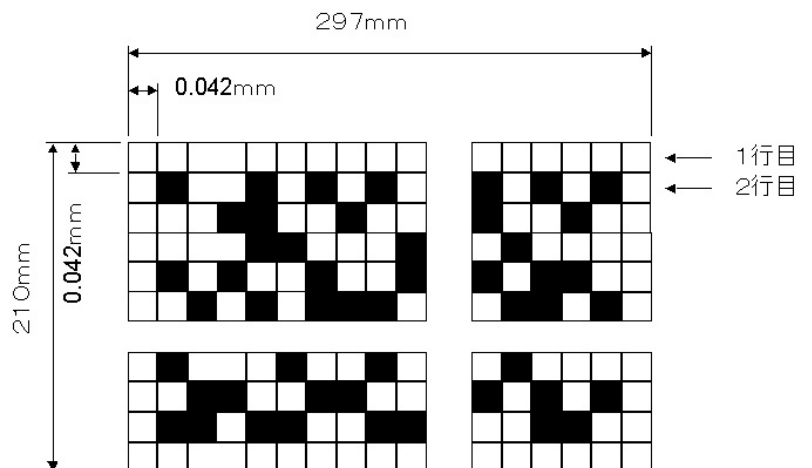
比較基準値

15	7	13	5
2	11	0	9
12	4	14	6
1	8	3	10



このようにして、色付部の面積の大小で原稿の濃淡を表わしています。そして、下図のように A4 原稿の全体に対して、色付とするところを 1 とし、色無とするところを 0 として 1 と 0 のデジタルの画像データが蓄えられることとなります。以上は一色について例として説明しましたが、色の三原色についてこれらのデータをそれぞれ揃えることとなります。

次に調べることになっている書き込み部では、この情報をもって原稿の 1 行目から順番にレーザー光で感光体上に書き込んでいくこととなります。(感光体については後で説明します) 画像がないところはレーザーをオフ(0:消す)し、画像があるところはレーザーをオン(1:点灯)することで書き込みを行ないます。

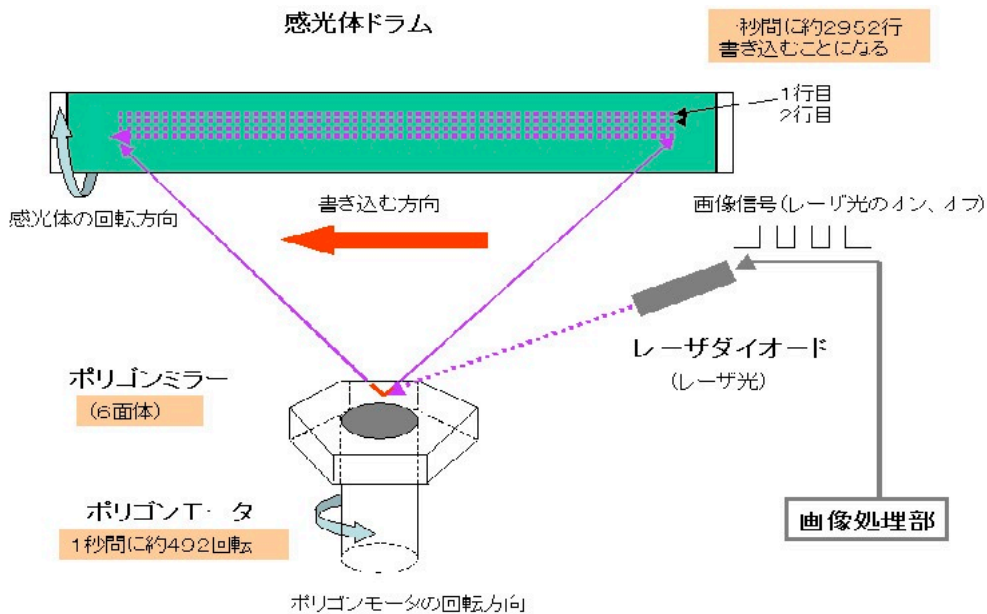


参考：デジタルコピー機とアナログコピー機との違いについて

アナログ機は原稿台上に置いた原稿をランプで照明し、レンズを通して感光体上に直接投影することで原稿情報を感光体上に作っています。ですからデジタル機のように原稿を細かく分割した画像データは持っていません。デジタル機でいろいろな画像の加工・編集ができるのは細かく分割した画像データを蓄えているからです。

6-3 画像の書き込み

下図に書き込み部の例を示しました。キャラバン隊で使うカラーコピー機の書き込み部の構成は形状が複雑ですので、判りやすくする為の下図の例で説明をします。基本的には同じです。実際はこのような書き込み部が Y、M、C、K のインク別に 4 つあります。



画像処理部から送られてくる画像情報 (0、1 信号) に基づき、レーザーをオン、オフさせて光のパルスを発生させます。画像有りに対してはオン、画像無しに対してはオフにします。レーザー光はポリゴンミラーで反射され、その反射光は感光体ドラム面に到達します。ここでポリゴンミラーは回転しており、ポリゴンミラーの回転に伴って反射光は感光体ドラムの端から端まで矢印の方向に走査されます。この走査で画像情報の 1 行が書き込まれます。どのくらいのスピードで書き込まれるのか計算してみましょう。ポリゴンミラーはポリゴンモーターにより一秒間に 492 回転しています。ポリゴンミラーは 6 面ありますので、一回転で 6 行書き込まれます。従って一秒間に 2952 行 ($492 \times 6 = 2952$) のスピードで書き込まれることになります。また感光体ドラム上に一行書き込まれると 0.042mm の幅が書き込まれたことになりますので、感光体ドラムは一行書き込まれる間に 0.042mm だけ矢印の方向に進み、次の行が書き込まれるようにします。一秒間では 125mm 進むことになります ($2952 \times 0.042 = 125\text{mm}$)。

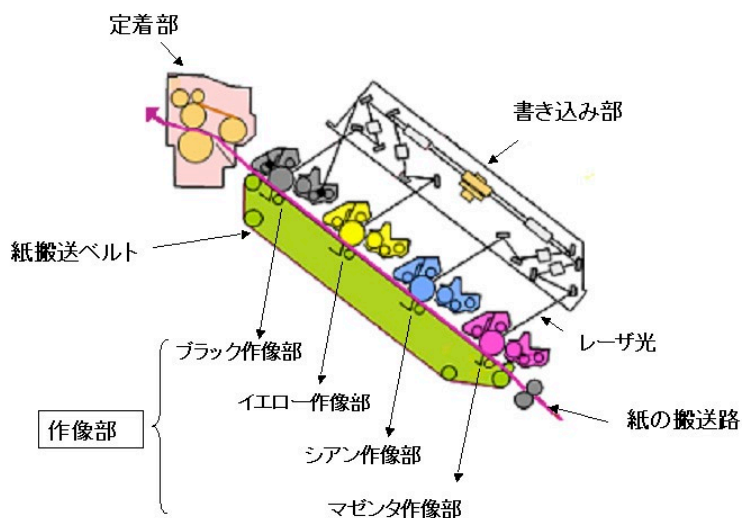
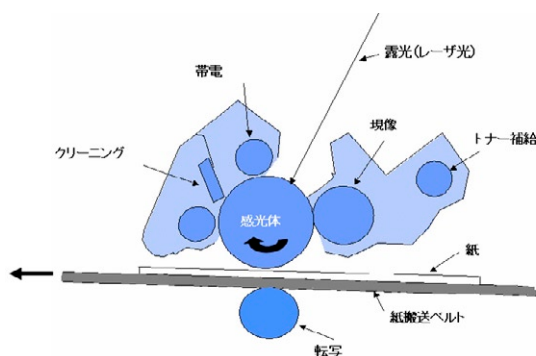
6-4 作像部

作像部にはマゼンタ作像部、シアン作像部、イエロー作像部、ブラック作像部があります。これらの作像部はレーザー光で感光体ドラム上に書き込まれた画像情報をトナーと呼ばれる色のついた粉（マゼンタ・トナー、シアン・トナー、イエロー・トナー、ブラック・トナー）をつけて現像し、紙に順次重ねて写していく働きをします。どのような仕組みで情報が感光体ドラム上に書き込まれ、トナーで現像され、紙に写されるのか、作像部の主要な構成をみていきましょう。

マゼンタ、シアン、イエロー、ブラックの主要構成は基本的に同じですので、シアン作像部を例にして、作像部の基本的な働きについて見ていきましょう。

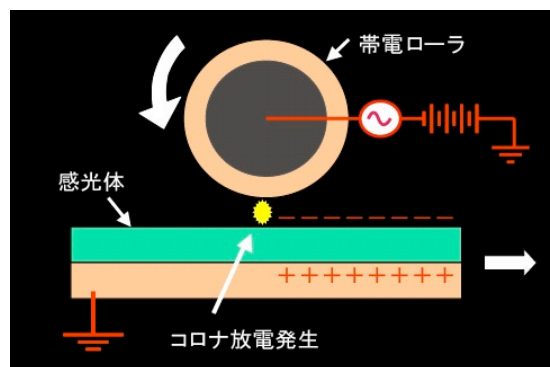
作像部の基本の工程は次の6ステップからなります。

- (1) 帯電
- (2) 露光
- (3) 現像
- (4) 転写
- (5) クリーニング
- (6) 除電



6-4-1 帯電

暗中で、感光体に近接して配置した帯電ローラーに－1000ボルトから－2000ボルトの電圧を加えると感光体との間でコロナ放電という持続した放電現象が起こります（皆さんが知っている雷も放電現象ですが、雷は非常に高い電圧で発生し、一瞬のうちに放電してしまい持続した放電にはなりません）。この持続した放電によって感光体にはマイナスの電気が蓄えられます。これを静電気と呼んでいます。家庭で使われている電気は動電気といいますが、一般的に電気というところの動電気をさし、静電気と区別されます。どの位の静電気を蓄えるかという、電圧にして－600ボルトから－800ボルト程度です。

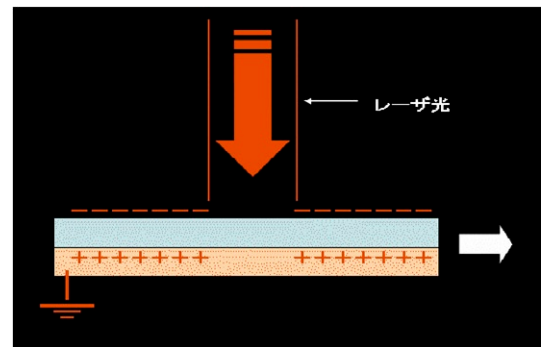


6-4-2 露光

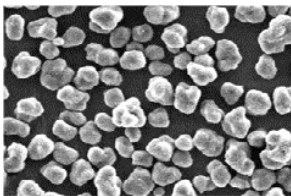
露光は原稿の情報を感光体に書き写す働きをしています。

ここで感光体の重要な性質について説明をします。感光体は暗いところでは電気を通さない絶縁体としての性質を示し、明るいところでは明るさの程度に応じて電気を通す導体としての性質を示します。このような性質を示す物質を光導電体と呼んでいます。

この性質を利用して、原稿情報を含んだレーザー光のオン、オフ信号を感光体上に照射して、静電気の有り無しパターンに変換しています。右上の図で画像があるところではレーザー光が感光体に照射され、その結果、静電気は消滅してしまいます。このようにして目には見えませんが静電気のパターンが感光体上にできます。



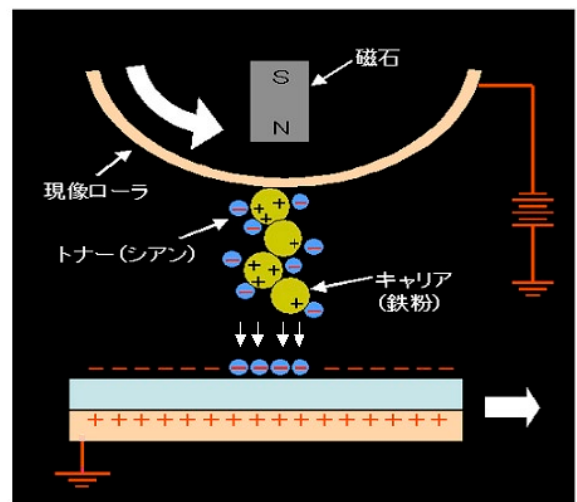
6-4-3 現像



現像は、露光によってできた静電気のパターンに、電気を帯びたトナーという色のついた粉をつける働きをします。このことを「現像する」といいます。左にブラックトナーの拡大写真を示します。

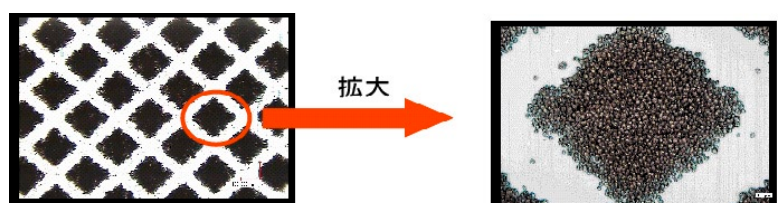
現像には鉄粉とトナーを含んだ現像剤が入っています。鉄粉をキャリアといい、キャリアとトナーはお互いに接触しあう（擦れあう）ことでプラス、マイナスの静

電気を帯び、トナーはキャリアに吸引されます（摩擦帯電）。右の図ではキャリアはプラス (+) に、トナーはマイナス (-) に帯電されています。キャリアは鉄粉ですので現像ローラー内にある磁石に吸引されながら現像ローラーの回転によってトナーを吸引した状態で感光体に運ばれてきます。感光体にトナーが移りやすくするために現像ローラーには、トナーと同じマイナスの電圧を加えています。これによってトナーは反発力を受け感光体側に移ろうとしますが、感光体上にマイナスの静電気が蓄えられているところは、トナーと極性が同じなため反発しあってトナーは現像されません。レーザー光が当たったところは、静電気が無いか少なくなっているためトナーが現像されます。



右は現像されたトナーの拡大図です。

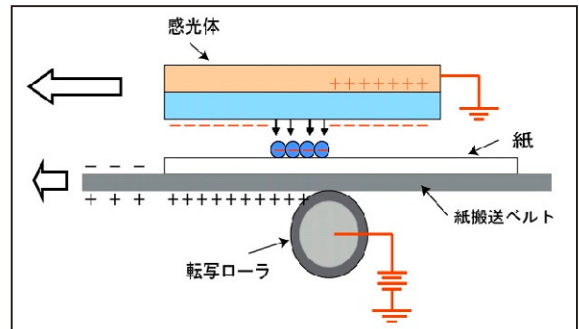
以上の働きによって原稿の画像情報が感光体上に、トナーの像として蓄えられることとなります。



6-4-4 転写

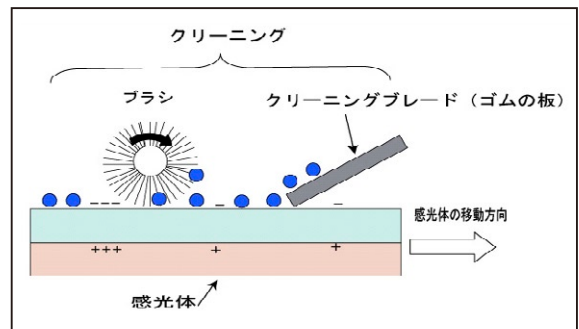
感光体上に蓄えられたトナーの像を紙に移すのが転写の働きです。搬送ベルトと感光体は同じ速さで同じ方向に動いています。

紙は搬送ベルトに載って感光体と転写ローラーの間に運ばれてきます。転写ローラーにはプラスの電圧がかけられています。このプラスの電圧によってマイナスに帯電したトナーは電気的な吸引力を受け、感光体上のトナーは紙に転写されます。こうして原稿の画像情報はトナーの像として紙の上に形成されます。



6-4-5 クリーニング

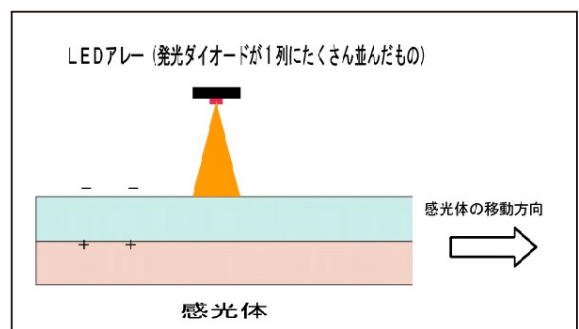
感光体上のトナーは転写によって全て紙に移るわけではありません。5パーセント程度のトナーが感光体上に残ってしまいます。この感光体上に残ったトナーを取り除くのがクリーニングの働きです。図には感光体に当たって回転するブラシと、クリーニングブレードと呼ばれるゴムからできている板を感光体に当ててトナーを取り除く例を示しました。



6-4-6 除電

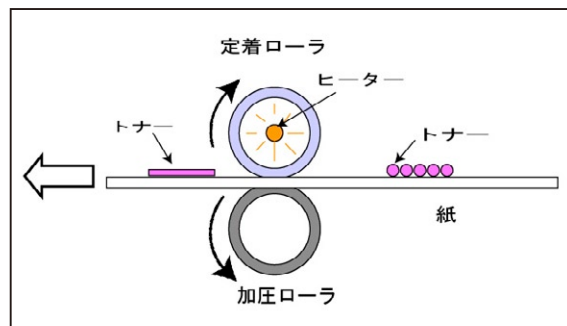
感光体上に残っている静電気を取り除くのが除電の働きです。この除電によって感光体は、最初の状態に戻ります。一般に、除電は図のように感光体に光を当てることで行っています。

また、交流の高電圧をかけてプラスとマイナスの静電気をくりながら、お互いに打ち消しあう方法で静電気を取り除く方法もあります。

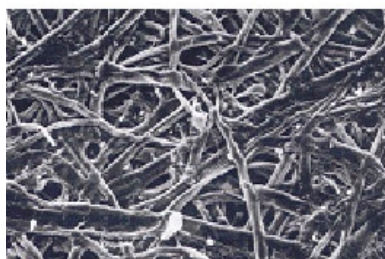


6-5 定着

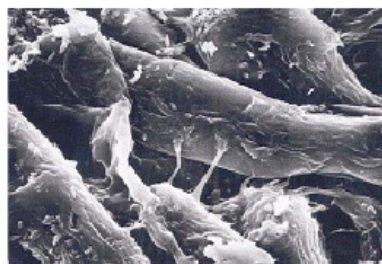
紙に転写されたトナーは、定着装置で熱と圧力を加えられて溶け、紙の繊維に絡まって紙にしっかりとくっ付きます。紙の表面を拡大してみると、紙の繊維が見えます。融けたトナーは、このような紙の繊維に絡まって冷えて固まると、紙から剥れないようになります。



200倍



2000倍



以上で、カラーコピー機の秘密が解明されました。難しい言葉がたくさん出てくるので、一度にすべてを理解するのは難しいですが、このテキストを繰り返し読み返すことで、少しずつ理解を深めていってください。そして、どうしても解らないことがあったら、サイエンスキャラバンまで質問を送ってください。皆さんからの連絡を楽しみにお待ちしております。 [メール](#) ➔ [株式会社リコー広報部 お問い合わせ窓口](#)

リコー・サイエンスキャラバン 大解剖シリーズ 「カラーコピーの秘密 大解剖」

著 者：タカハシ博士（高橋道男／株式会社リコー TCO-3R 開発センター）

発 行：2007年9月1日（改訂第一稿）

発行者：株式会社 リコー CSR 室 社会貢献推進部 〒104-8222 東京都中央区銀座 8-13-1