

赤外線イメージスキャナの開発

アイメジャー有限公司 一ノ瀬 修一
(財)京都市埋蔵文化財研究所 宮原 健吾

はじめに

赤外線イメージスキャナの開発を行ったので、その取り込み原理や、特徴について報告する。通常市販されているフラットベット型イメージスキャナを赤外線を用いて取り込みを行うように専用に改造したものである。また、実際に考古学研究分野での応用を検証したので併せて報告する。

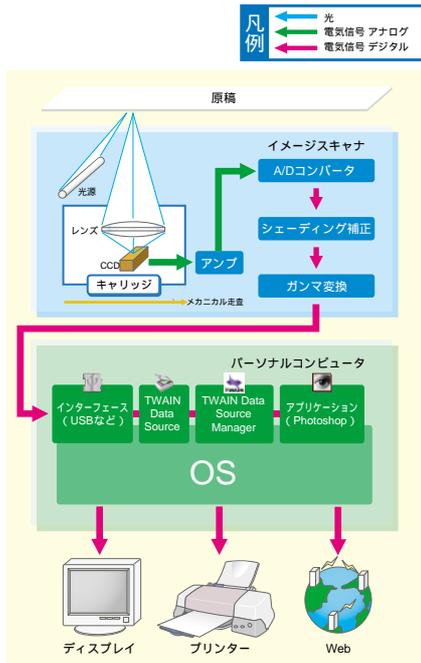


【第1図 赤外線イメージスキャナの概観図】

イメージスキャナの取り込み原理

まず、最初に既存のイメージスキャナの取り込み原理をおさらいする。第2図に示すとおり、画像は次ぎのプロセスを経て、取り込まれる。原稿を照らす光源、原稿からの拡散反射光をセンサ上に結像するレンズ、像の濃淡を光電変換するCCDリニアイメージセンサ、センサのアナログ出力をデジタル信号に変えるA/Dコンバータ、後述するシェーディング補正を経て、インターフェースを通じて、接続したパーソナルコンピュータに画像を送る。

CCDリニアイメージセンサは、リニアという名の由来の通り、フォトダイオードを1次元配列したセンサであり、同時に短冊状の画像をサンプリングする。そして、このセンサをまるごと、短冊の長手方向とは垂直の方向にメカニカル走査により移動しながらサンプリングを続けることで、2次元画像を得る。

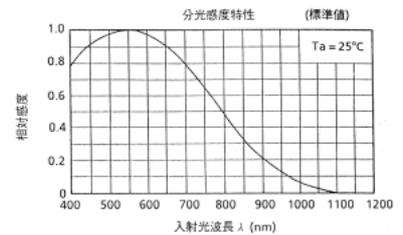


【第2図 イメージスキャナの画像取り込みフロー】

赤外線イメージスキャナへの改造

一般的なCCDリニアイメージセンサの分光感度を第3図に示す。眼の分光感度領域は、380～780nmと考えられているから、780nm～1100nmの「赤外線」領域の光は、イメージスキャナとしては不要光となる。通常はこの領域の光は、色再現性劣化やコントラスト低下を招くため、センサにたどりつかないように分光学的に遮断する。また光源においては、赤外線を発生するほど発光効率は低下するため、投入した電力がなるべく可視光となるように改良を続ける。

今回、イメージスキャナを構成する光学要素部品において、赤外線ランプを利用し、またセンサの赤外線感度領域のみを使うことで、赤外線イメージスキャナを構成することに成功した。



【第3図 CCDリニアイメージセンサの分光感度】1)

イメージスキャナ vs カメラ

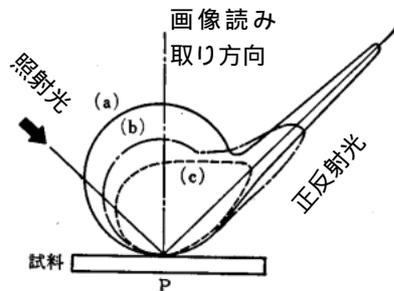
ここで、赤外線イメージスキャナの特徴について説明する。まず、赤外線 vs 可視光という議論に入る前に、イメージスキャナという画像入力装置の特徴について述べてみたい。200万画素を越える低価格なデジタルスチルカメラが普及している現在でも、画像入力装置の1つとしてイメージスキャナは手放すことができない装置である。その理由は次のような5つの特徴を有しているためである。

a) テカリを排した光源を内蔵した接写専用暗箱である

デジタルスチルカメラもストロボを内蔵しているのではないかとと思われるかも知れない。しかし、イメージスキャナの特徴は、内蔵する光源のレイアウトにある。陶器や、印画紙写真などの表面の性状を表す言葉として、「光沢度」という指標がある。光沢とは、平滑性のある物体表面の反射特性から生まれる「正反射光(鏡面反射光とも言う)」成分が産み出している。物体に書かれた文字などを読み取るためには、地と文字領域との反射率の違い、すなわちコントラストが十分確保されている必要がある。正反射光は、物体内部の性状から来る反射率の違いを消失し、鏡のような強い反射を生む。その結果、コントラストは無くなり、そこに書かれてあるハ

ズの文字などは識別不可能となる。

イメージスキャナの光源レアウトを設計する際には、通常この正反射光を取り込まないように留意する。具体的には、第4図に示すとおり、斜め45度の角度から照明光を照射し、資料に垂直な方向にて画像を取り込むことで、正反射光を回避する照射レイアウトとする。



【第4図 照射光、正反射光と読み取り方向】2)

また通常は原稿を下向きにして、フタを閉めて取り込みを行う構造となっている。このことで簡易的な暗箱での写真撮影と同等となる。外部から差し込む光による影響を受けにくくなり、原稿を照明する光を完全に装置のみで制御できる。

もし、カメラにて同じことをやろうとすれば、まず部屋を真っ暗にして、かつ照明する光源のライティングの角度を調節して、原稿からの正反射光を取り込まないように注意しなければならない。カメラで光沢性のある印画紙の接写撮影をされた事のある方ならご存知だと思うが、かなり注意を要する難しい作業である。

b) A4サイズのデジタイザである

寸法の校正作業が不要となる。もちろん、スキャナの取り込み精度の範囲内のことである。もし同じことをカメラで行うとすれば、被写体の中にスケールを一緒に映し込み、寸法の校正を行う作業が必要となる。イメージスキャナで画像を取り込む作業は、画像をデジタイズしたことと同じである。例えば、スキャン解像度が300dpiであれば、スキャン画像の300pixelは、1インチの長さに相当する。スキャン時に設定した解像度情報は、その保存ファイルに自動的に書き込まれる。Photoshopなど市販のアプリケーションソフトウェアで画像を開けば、ものさしツールなどで、いつでも寸法を測定することも可能である。つまり、取り込み作業を行う中で自然と寸法に対するキャリブレーション作業も行っていることになるので、いちいち寸法を意識することなく効率的な取り込み作業が可能となる。

もし、カメラタイプの画像入力装置にて、毎回校正を行わずに済ませるためには、接写台に取りつけたデジタルスチル

カメラにおいて、使用レンズの焦点距離を固定し、原稿=レンズ間の接写距離も固定することで可能となる。

c) A4サイズの反射率測定器である

肉眼で見る写真では、撮影した画像の中央と周辺の値の違いに気づきにくいだが、レンズを使う限り幾何光学的な理由で「周辺減光」が発生している。レンズの光軸中心の明るさに比べて周辺に行く程、光量が低下する。これはレンズの絞りを明るくする程顕著となる。イメージスキャナもレンズを内蔵しており、同じ現象が発生している。しかし画像の取り込みで先立ち、内蔵した「白基準板」の取り込みを行い、「シェーディング補正」と呼ばれるデジタルデータの演算による濃度校正を行うことで、次に示す構成要素部品の固体バラツキを矯正し、規格化した値を自動的に出力できる。

- i) レンズの周辺減光
- ii) ランプの照明ムラ
- iii) センサの画素ごとの感度ムラ

このことで、原稿の反射率に比例した値を、取り込み領域の場所に依存せず、中央でも、周辺でも得ることが可能となる。すなわち、イメージスキャナは簡易的な、A4サイズの反射率測定器として扱うことができる。

また、近年、Windows98や、Mac OSなどのパーソナルコンピュータのOSが正式に「カラーマネージメントシステム」をサポートし始めたことにより、「プロファイル」と称するデバイス特有の入出力特性を記述するファイルを使って、被写体の色を定量化することも可能となってきている。すなわち、測定器としての精度は低いものの、A4サイズの色彩色度計として活用することも可能である。

d) 画素数が非常に多い

市販されているデジタルスチルカメラの主流は、現在300万画素となりつつある。それでも、同時にA4サイズの画像(30cmくらい)を得ようとすると、インチあたり150pixelを割り当てる(150dpi)のがやっとである。イメージスキャナは、600dpiの解像度でスキャンした場合でも、A4サイズの画素数は、3千500万画素を超える。1200dpiでスキャンすれば、ゆうに1億4千万画素を超える。

カメラを使って、600dpiの解像度を得るためにマクロ撮影をする作業は非常に困難を極める。何故なら、まず照明ムラが一番の問題となる。更に、レンズ歪みが多くなり撮影箇所により拡大率が異なる度合いが大きくなる。そのため、寸法校正が難しくなる。

また、拡大しようとしてマクロ撮影をすると、今度は逆に全体を同時に得ることができなくなり、全体を表現するため

には撮影した複数の画像を切り貼りしなければならない。カメラタイプで得た複数の画像を切り貼りする場合、原稿の明るさや繋ぎ合わせの画像寸法などの整合作業は、困難を極める。

逆に、イメージスキャナタイプの画像は、もし原稿台のサイズ(例えば、A4サイズ)よりも大きな試料であっても、複数枚の画像として取り込みを行った後、デジタル画像データのスチッピング(切り貼り)作業は容易である。それは先に述べた、反射率測定器として校正された濃度値を得られる点と、画像歪みの少ないデジタイザ機能も併せ持つためである。その結果、繋ぎ併せるべき画像端部の整合性は非常に良い。

e) デジタル画像入力装置である

この点は、パーソナルコンピュータの周辺機器としての画像入力装置の特徴であり、デジタルスチルカメラにも共通した特徴である。USBインターフェースなどが近年周辺機器のインターフェースとして普及し、どのパーソナルコンピュータにもこのインターフェースが用意されている。いつでもどこでもイメージスキャナをコンピュータに接続、取り込んだデータは直ちにデジタル画像ファイルとして保存、さらにDTP、メール送付やWeb Siteへの張りつけが可能となる。

一方、現在普及している赤外線カメラの場合、いったんNTSC信号としてTV出力されている画像情報をデジタル画像データに変換するためには、キャプチャリングという作業が必要となる。この「キャプチャリング機能」を持たないパーソナルコンピュータには、画像を取り込むことができない。

赤外線 vs 可視光

可視光に対する赤外線の長所は次の点があげられる。

ア) 散乱が少なく透過性が高い

可視光に較べて資料内部の情報を得ることができる。薄手の資料であれば、透過光モードにおいて内部の構造を見ることができる。例えば、紙において光の透過性が低下する理由は、本来素材としては透明なセルロースが、空気と折り混ざって微細な繊維構造となっており、光が散乱されやすいためである。

波長が短くなる程、光は散乱されやすい性質を持つ。良く知られる空が青くなる理由である。よって、赤外線は可視光に比べ波長が長い散乱されにくい特徴を持つ。そのため、紙の繊維や、陶器などの微粉末による散乱を受けずに、奥にある画像情報を引き出すことが可能となる。

イ) 染料、顔料などに吸収されにくい。

染料、顔料などは、可視光の特定の波長を吸収することで色を出す。しかし、これらの材料も多くの場合、赤外線を吸収しない。一方、古くから記録用に使われる墨は炭素からできており、可視光域から赤外線領域までの広い範囲で光吸収特性を持つ。その結果、彩色した土器や色印刷された資料の中に墨文字があると、墨の部分だけ赤外線を吸収し他は反射するため、墨の部分のコントラストが上がり、文字認識が容易になる。

そもそも、見やすい画像の状態とは、注目するパターンと無視したいパターンとの間に濃度コントラストがある状態となっている。したがって、見えにくい画像を見やすくするためには、文字領域など注目するパターンを更に濃くするか、周辺の無視したいパターンの反射率を上げたり、その領域の持つ特有のパターンノイズを滑らかにすることである。

上述した赤外線の2つの特徴は、どちらも、墨や鉛筆などで書かれた文字と母体となる地とのコントラストを上げることが可能となり、可視光では見えない画像を発見することが可能となる。

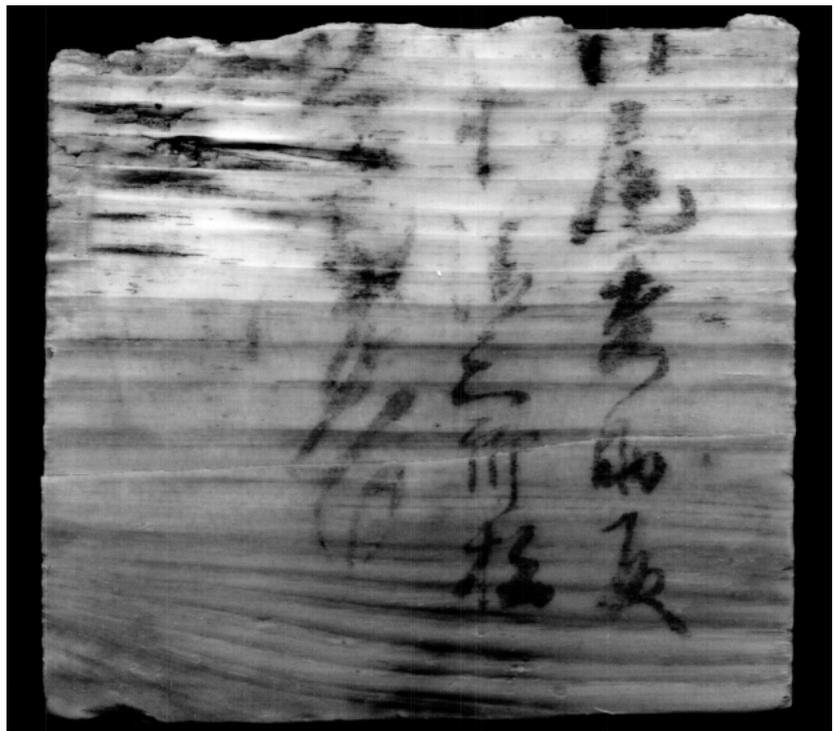


第5図 木簡を既存のイメージスキャナを用いてスキャンした例

考古学研究への 応用

発掘調査において出土する遺物は非常に多種多様であるが、その中でも木簡や墨書土器、漆紙文書などの文字の書かれている遺物は、土器や石器では決定出来ない絶対年代を決める重要な基準資料となりえる。しかし、それらの遺物は長い期間土中にあり、汚れや変色、劣化により、当初に書かれていた文字が肉眼では判読し難くなっていることが多く、そのような遺物を判読するときは、赤外線写真を撮影したり赤外線カメラを使うのが一般的である。その理由は、文字を書くために使用した墨(不定形炭素)が赤外線領域で資料のベースである木材や紙と比べると高い吸収率を持ち、かつ表面に付着している汚れも赤外線に対して高い透過率を持つからである。

しかし、赤外線カメラなどを用いた資料の判読は、ライティングなど撮影に特殊な技能を要求され使い易いとはいえず、得られる画像もアナログ情報なので、最近のようにコンピュータでの画像処理を前提としたデータ取得には本質的に不向きだという欠点があった。さらに重大な問題点は、貴重な文化財を長時間にわたり熱線(赤外線)下にさらすことである。これは資料の観察時に、通常の室内光源では赤外線量が不足しているため「赤



第6図 木簡を赤外線イメージスキャナを用いてスキャンした例

外線投光器」を使用して大量に赤外線を資料に照射することに起因し、結果的に不要な温度上昇を資料に与え、資料の劣化を加速させる。また、実際の作業環境においても、真夏に「赤外線投光器」を使つての撮影は厳しく、さらに赤外線が赤外線白内障や網膜障害などの健康障害を引き起こすことも確認されている。

今回、筆者らは、普及型のフラットベッド型イメージスキャナを赤外線イメージ専用に変更し、従来の赤外観察装置とは全く異なる斬新な発想で「赤外線イメージスキャナ」を開発したので、その有効性をここに紹介するものである。

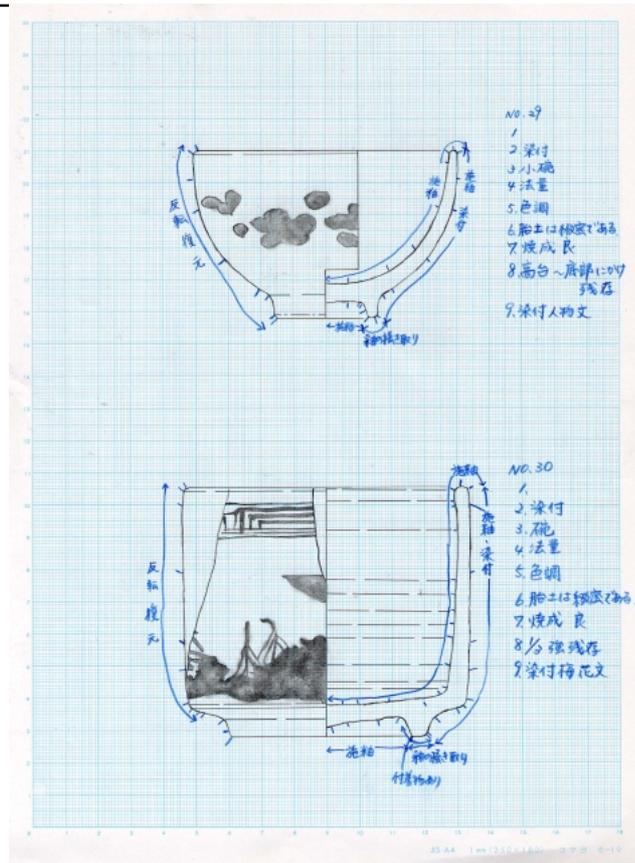
a) 使いやすさ

今回の開発で一番念頭に置いたのは、「Easy to Use」である。過去に筆者らのように赤外線写真を撮影したり、赤外線カメラを操作した経験がある方には良く理解できると思うのだが、赤外線自体が不可視であるということもあり、これらの作業は非常に面倒で、ある程度電磁波の特性を理解し、それなりの経験を積まないとなかなか思うような結果が得られない。赤外線カメラを所有していても、あまり木簡などの赤外線カメラを必要とする遺物が出土しないと、使い方もなかなか上達しない。

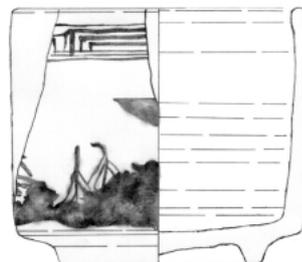
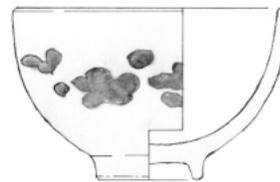
多くの場合、一番苦労するのは赤外線投光器のライティングである。赤外線は不可視光なので、なかなか資料に均一に照射するのが難しく、外光の混入などもあるため、いつも同じ条件で観察するのはほとんど不可能である。その点、今回開発した赤外線イメージスキャナは、安定した光源をスキャナの内部に持ってあり、いつでも反復精度の高い条件の整った観察が可能である。さらに赤外線イメージスキャナ自体は可搬性が高く、ノートパソコンと組み合わせることより、今までのように出土した遺物をはるばる赤外線カメラのあるところまで持って行かなくても、遺物の出土した地点においての観察が可能になり、いつでもどこでも誰にでも赤外線を用いた文化財の研究が可能になった。(第5図、第6図の木簡のスキャン画像を参照のこと。赤外線イメージスキャナで得た画像は、墨文字のコントラストが上がっている。また木目のコントラストは低下し、ザラツキが消えている。その結果、墨文字が読みやすくなっていることがわかる。)

b) 高画質

赤外線カメラの短所としては、獲得されたイメージの品質の低さが上げられる。これは走査線の少なさから来るもので、報告書などの図版に赤外線カメラの画像が使われない大きな理由である。しかし、高精度な走査系と光学系を持つスキャナを使ったスキャンでは、赤外線カメラから得られた画像とは比較にならない精細で高画質な画像の入力が可能である。さらに、通常のカメラレンズを使う赤外線カメラ場合、資料の拡大率が等倍程度であるのに比べ、赤外線イメージスキャナは任意の部分が自由な倍率で拡大できる。また、赤外線カメラは通常の写真用レンズを使用していることもあり、レンズ自体の持つ収差と走査線に変換された画像では図形歪みが著しくとても計測には利用できないが、赤外線イメージスキャナで得られたイメージは、高精細でありかつ画像の幾何精度が非常に高いので、実測図と赤外線写真を兼用できるメリッ



第7図 方眼紙に描いた遺物の実測図を既存のイメージスキャナを用いてスキャンした例



第8図 方眼紙に描いた遺物の実測図を赤外線イメージスキャナを用いてスキャンした例

トがある。

c) 資料の安全性

赤外線イメージスキャナでのスキャンはスリットで行われるため、観察時に資料に対して必要最小限しか赤外線の照射が行われない。赤外線カメラを使用した時には、ほとんど赤外線投光器を消さないで作業を行うことを考えると、資料に照射する累積赤外線量は圧倒的に微量であり、貴重な文化財が極端に嫌う不要な熱はほとんど与えず、資料に含まれる水分が蒸発にすることによる資料の劣化も皆無である。

さらに、赤外線カメラを用いた撮影では資料の真上にカメラを設置する必要があるため、常に落下による破損の危険に資料が晒されることになる。しかし、赤外線イメージスキャナではそのような必要性はなく、資料に及ぼす危険性は非常に小さい。

d) データの汎用性

赤外線カメラで得られた画像は基本的にアナログデータだったので、そのイメージを画像処理したり印刷するには、ブラウン管面をポラロイド写真で撮影したり、TVから出てくるNTSCの信号をA/D変換してコンピュータに持ちこむ必要があり、手間が掛かる割りに得られる画像の品質も低かった。しかし赤外線イメージスキャナから得られるデータは、当然のことながら高精細なデジタルイメージなので、そのまま画像処理ソフトに持ち込んで、画像処理や画像解析が可能である。また、その画像は報告書や出版物にそのまま利用できる。さらにデータベース化も容易である。

e) その他の応用例

考古学では、遺物などを精密に記録するために実測図と呼ばれる投影図を書く。これは寸法精度が重視されるので方眼紙に書かれることが多い。しかし、その実測図を報告書などの書籍に掲載するときは、方眼紙に書かれている方眼が邪魔になり、そのままでは掲載できないので再度出版用にトレースをし直す。これは非常に時間と手間がかかり、結果として報告書作成のコストと期間に大きな比重を占めることになる。しかし、その実測図を赤外線イメージスキャナで読み取ると、染料系の塗料で印刷されている方眼は赤外線に対して透明なために、通常の鉛筆で描かれた絵だけを取り出すことが可能になり、上記の問題は見事に解決する。これは鉛筆の芯に使われている炭素の同素体である黒鉛(グラファイト)が赤外線に対して高い吸収率を持つからである。(第7図、第8図の方眼紙に描いた遺物の実測図のスキャン画像を参照のこと。方眼紙のマ

ス目や、色インクペンで書き込んだ文字は消失し、鉛筆で書き込んだ図柄のみが浮き出て取り込まれていることがわかる。)

f) 今後の開発予定

赤外線イメージスキャナで読む資料は、あらかじめ文字の書かれている、もしくは書かれていると思わしき文化財であって、墨書土器や木簡が選別の際に洩れている可能性は高い。それを解消するには、非接触で迅速に文字の有無を確認できる、赤外線イメージスキャナにとってプリプロセッサの役目をする装置が必要である。また、立体物や表面の状態によっては、非接触での観察が必要な資料もあるので、それには手軽にデジタルイメージとして赤外イメージが得られる、赤外線デジタルカメラ、もしくは、赤外線デジタルビデオカメラを開発する必要がある。

おわりに

貴重な木簡の画像を提供して頂いた関西文化財調査会の吉川義彦氏、ならびに遺物の実測図を提供頂いた佐賀県多久市教育委員会に感謝します。また、今回の論文作成や市場調査にあたり資料を提供頂いた(株)埋蔵文化財サポートシステムの武広正純氏、有限会社ダットの小川紋弘氏、赤外線イメージスキャナの試作に尽力して頂いたセイコーエプソン株式会社の百瀬喜代治氏に心から感謝致します。

引用文献

- 1) 東芝, CCDリニアイメージセンサ TCD シリーズデータブック, 1993年
- 2) 応用物理学学会光学懇話会編, 朝倉書店, 色の性質と技術, 1986年

【著者紹介】

一ノ瀬 修一

(1959年生・埼玉県出身)

アイメジャー有限会社 代表取締役

〒399-0023 長野県松本市内田 2941-4

TEL:0263-85-0051

FAX:0263-85-0052

E-Mail:info@imeasure.co.jp

<主なる業務歴および資格>

1985年、筑波大学理工学研究科物質工学修士課程了。同年、エプソン株式会社へ入社。1986～1999年、カラーイメージスキャナの設計、要素開発に従事。

1999年、セイコーエプソン株式会社退社。同年、アイメジャー有限会社を設立。

宮原 健吾

(1962年生・佐賀県出身)

財団法人 京都市埋蔵文化財研究所

〒602-8435

京都市上京区今出川通大宮東入

TEL:075-415-0521

FAX:075-431-3307

E-mail:MGG01063@nifty.ne.jp