

近赤外線イメージングによる皮下異物の検出実験

早川 吉彦[†], 山下 拓慶[†], 大粒来 孝[†], 妙瀬田 泰隆[†],
佐川 盛久[†], 近藤 篤[†], 辻 由美子^{††}, 本田 明^{††}

[†]北見工業大学工学部情報システム工学科 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地

^{††}北見工業大学工学部保健管理センター 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地

(2010 年 4 月 20 日受付, 2010 年 5 月 20 日最終受付)

Near-infrared radiation imaging for the detection of alien substances under the skin

Yoshihiko HAYAKAWA[†], Hiroyoshi YAMASHITA[†], Takashi OTSUBURAI[†], Yasutaka MIYOSETA[†],
Morihsa SAGAWA[†], Atsushi KONDO[†], Yumiko TSUJI^{††} and Akira HONDA^{††}

[†]Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Kitami Institute of Technology
165, Koen-cho, Kitami, Hokkaido 090-8507, Japan

^{††}Health Administration Center, Kitami Institute of Technology
165, Koen-cho, Kitami, Hokkaido 090-8507, Japan

(Received on April 20, 2010. In final form on May 20, 2010)

Abstract: The wavelength range of the near infrared (NIR) light is called ‘water window.’ The superficial vascular imaging system using near infrared light sources was developed as those using both the reflected light and transmitted light. An NIR-sensitive CCD camera was surrounded by approximately sixty light emitting diodes (LEDs), which have alternating wavelengths of 700 (visible light), 760, 810 and 940 nm, respectively. The camera detected the reflected NIR from superficial subcutaneous tissues at the palm and back of hands, and the wrist. Differences between wavelengths were significantly observed. Images taken at 940 nm the most clearly showed the vascular vessels at insides of these regions. As an application of the NIR imaging system, we examined whether the system was the beneficial tool for finding superficial subcutaneous foreign bodies or not. Twelve light sources of 940 nm LEDs were aligned for the transmission imaging. The alien substance examined was a mechanical pencil lead with 0.5 mm diameter. Chicken and pork meats (approx. 1 to 10 mm in thickness) were used instead of human skin. The thickness and fat contents were affected on the detection. As results, the NIR imaging was thought to be the beneficial tool for finding subcutaneous alien substances detection.

Key words: Near-infrared radiation, NIR imaging, alien substances, intradermal splinter

1. はじめに

近赤外線は「水の窓」と呼ばれる波長領域で、ある程度の人体透過性を有する。その性質を利用して、たとえば近赤外線による表在性血管のイメージングは、手の甲や指などの静脈を対象にして個人認証のためのバイオメトリクス分野で活用されている[1, 2]。何らの侵襲性もないため安全性が高く、光源であるLED（発光ダイオード, Light Emitting Diode）や撮像カメラにかかるコストもそれほど高くはない。近赤外線の波長領域はおよそ 700 nm～2500 nm で、赤色光よりやや波長の長い電磁波を指す。近赤外線の主な性質としては、可視光線と比較して「肉眼で見ることができない」、「物を透過することができる」、「光が散乱しにくい」などが挙げられる。

生体工学分野では、ヘモグロビンの近赤外線吸収スペクトルの変化が利用されている。特に、酸化および還元ヘモグロビンの近赤外線吸収スペクトルに対する異なる変化が酸素飽和度の推定などに用いられる[3, 4]。すなわち、800 nm 付近を境に、それより短波長側では還元ヘモグロビン、長波長側では酸化ヘモグロビンの吸収係数が大きい。パルスオキシメータなどがそのような特徴を活かした装置である。

バイオメトリクスにおける静脈イメージングは、近赤外線の皮膚透過性とヘモグロビンによる吸収という性質を利用している[1, 2]。そのイメージングの原理は、次の通り

である。

- 近赤外線によって皮膚がある程度透ける。
- ヘモグロビンが含まれる血管部分に光が吸収される。
- 血管部分だけ光が弱まり暗く映し出される。

本研究では、まず、このような静脈描出が可能な近赤外線イメージングシステムを製作し[4]、次に、波長の異なる LED を用いてそれぞれの静脈イメージングの特徴を調べた。

さらに、その応用として、指の皮下異物としての「棘」をイメージングできるかという課題を考えた。医療機関に普及している超音波診断装置で検出を試みた報告[5]によれば、皮下の棘のほとんどは植物由来で、それが小切片化したものである。長い年月、肉眼で観察できるような状態で皮下に放置された例もある。一方、炎症を起こして腫れがあるような場合、小さな切片になった棘は肉眼や超音波では観察されにくいようである。そこで、棘による指創傷を想定した皮下異物の検出可能性を検討する実験を行なった。

2. 方 法

2.1 光源系と受光系の設計

光源には、可視光 LED を 1 種類と近赤外線 LED を 3 種類の計 4 種類を使用した。その詳細は、各波長におけるヘモグロビンの光吸収率の特徴とあわせて、Table 1 に示し

Table 1 The list of LEDs and the optical absorption of Hemoglobin (Hb)

Peak Wavelength (nm)	Radio wave area	Product ID	Manufacturer	Optical Absorption	
				oxy-Hb	deoxy-Hb
700	visible light	VSF706C1	Optrans	low	high
760	near infra-red	L760-33AU	Epitex	low	high
810	near infra-red	LSF811C1	Optrans	even	
940	near infra-red	LSF944C1	Optrans	high	low

Notes: Specifications including spectral outputs are available at manufacturers' websites, Optrans (<http://www.optrans.com/japanese/top.htm>) and Epitex (<http://www.epitex.com/>), accessed at May 19, 2010. The optical absorption is expressed by relative comparisons between oxy- and deoxy-Hb (Hemoglobin).

た。各 LED の中心波長とスペクトルは両社の website (Table 1) に、またヘモグロビンの光吸収率は、Prahl S. による website 等々に示されている[2, 6]。なお、この波長領域では波長が長くなるにつれて、散乱は小さく透過率は大きくなる。

受光系には、近赤外線に感度のあるアナログ白黒ビデオカメラ XC-EI 50 (SONY) を用いた。画素数は 30 万である。近赤外光の LED を光源にしたときは、LED からの発光以外の室内光が入らないように、700 nm の波長カットフィルタ、シャープカットフィルタ SCF-50S-70R (シグマ光機) をカメラの前に置いた。

2.2 反射光による静脈イメージング

最初に、反射光による静脈イメージングを行った。反射光方式を用いるメリットは、撮影対象が厚い場合でもある程度透過率があれば撮影できることである。LED を各 60 個ずつ配置して、近赤外線あるいは可視光線を撮影部位に照射して、反射した光をビデオカメラで撮影した (Fig.1)。カメラから約 25 cm、LED から約 20 cm 離れた所に撮影対象を置いた。波長 700 nm の LED のときは波長カットフィルタを使わなかった。

2.3 透過光による指静脈イメージングと皮下異物検出

反射光によるイメージングで使った 4 種類のうち、散乱光が少なく透過性もよい波長 940 nm の LED を選択し、近赤外線の人体透過性を利用したイメージングが棘による指創傷を想定した皮下異物の検出に応用できるかどうかを調べた。波長 940 nm の LED を 12 個用い、密集させた状

態で光らせるようにした (Fig.2 left)。カメラの前には前述の波長カットフィルタを置いた。

撮影は透過光方式で行い、波長 940 nm の LED とビデオカメラで、被験者の指を挟むようにして行なった (Fig.2 right)。透過光方式を用いるメリットは、コントラストが良いことである[1, 2]。しかし、透過光方式は撮影対象を透かすことができないと撮影できない。したがって、手のひらや手首等といった厚みがある部位では用いることができないと考えている。

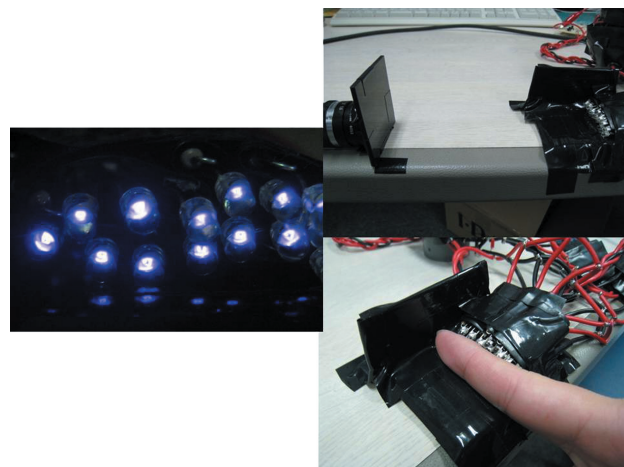


Fig.2 Twelve light emitting diodes (LEDs), which have a wavelength of NIR's 940 nm, were aligned in a line (left). The positional relationship among the light source, CCD camera and the finger is shown on the right side.

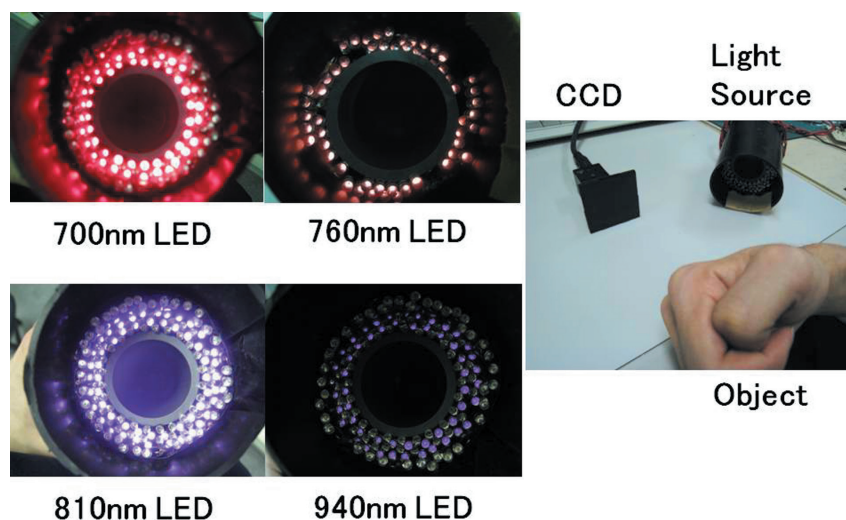


Fig.1 Sixty light emitting diodes (LEDs), which have alternating wavelengths of visible light 700 nm, and NIR's 760 nm, 810 nm and 940 nm, were aligned in a circle (left). The positional relationship among the light source, CCD camera and the object is shown on the right side.

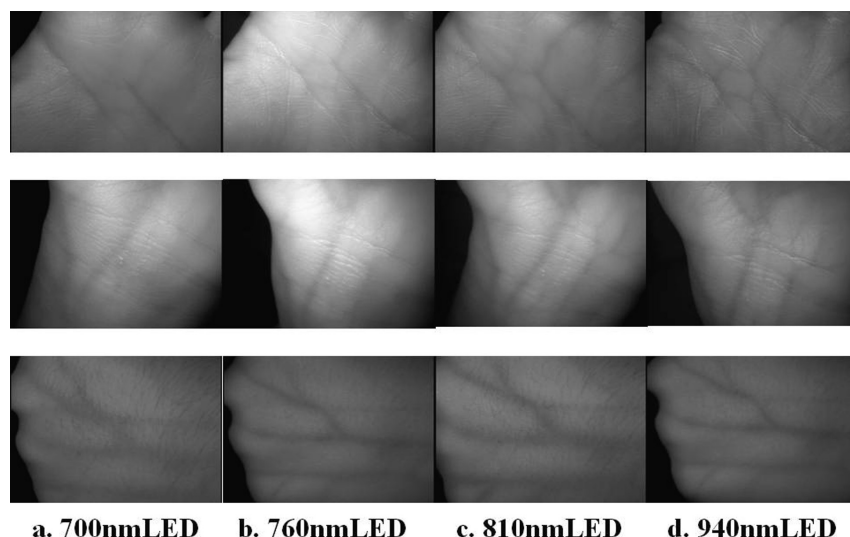


Fig.3 Reflected NIR imaging of superficial subcutaneous tissues at the palm, wrist and back of hand (from top to bottom) at four alternating wavelengths of 700 (visible light), NIR's 760, 810 and 940 nm, from left to right.

皮下異物の検出実験には、指を想定し、鶏肉と豚肉を使用した。生物的な棘のかわりにシャープペンシルの芯を刺し、それが検出可能かどうか調べた。シャープペンシルの芯は、HB で太さ 0.5 mm のものを用いた。

3. 結果

3.1 反射光による静脈イメージング

製作した装置を使用して撮影を行った。撮影部位は左の手のひら、手首、手の甲である (Fig.3)。全体的に見て 940 nmLED を使ったときが最も鮮明に静脈を撮影できた。

3.2 透過光による指静脈イメージング

小指、中指、および親指のイメージング結果を示す (Fig.4 left)。また、個人認証の論文[1, 2]によると血管強調の作業を行うと認証結果がよくなるということなので試してみた結果も示す (Fig.4 right)。どの指でもはっきりと静脈を撮影できたが、親指の場合は他の指に比べて、LED の光を

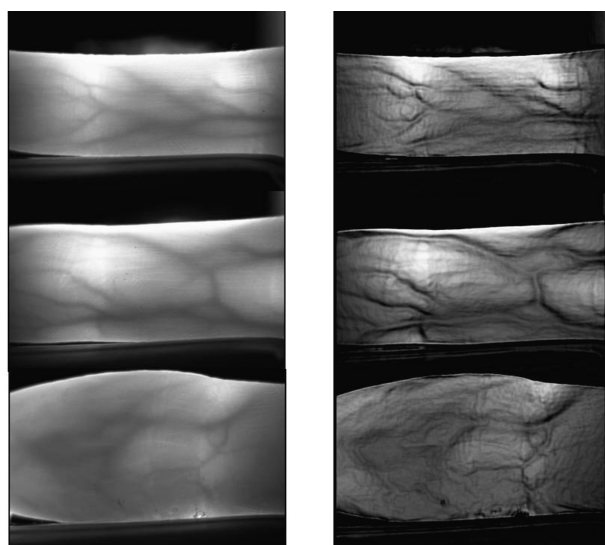


Fig.4 Transmitted NIR imaging of fingers at a wavelength of 940 nm. Three images at the right column are processed by usual enhancement procedures. Top row: little finger (fifth digit), Middle row: long finger (third digit), Bottom row: thumb (first digit)

強くしないと撮影できなかった。今のところ、指以外の部位を透過光で撮影することは透過率の問題で難しいと考えられる。

3.3 透過光による皮下異物検出

まず、鶏肉に刺したシャープペンシルの芯の撮影結果を示す (Fig.5)。それぞれの厚さはおおよそその値である。鶏肉は皮なしの厚さ 5 mm と 10 mm、皮のみ、皮つきの厚さ 5 mm と 10 mm で撮影した (Fig.5 の上から下へ)。鶏肉の場合、皮つきの厚さ 10 mm 以外はすべて検出できた。次に、豚肉に刺したシャープペンシルの芯の撮影結果を示す (Fig.6)。それぞれの厚さはおおよそその値である。豚肉は脂なしの厚さ 5 mm、8 mm 及び 10 mm、脂のみ 3 mm と 5 mm、脂 3 mm 付きの 5 mm 厚の肉でそれぞれ撮影した (Fig.6 の上から下へ)。豚肉の場合、厚さ 8 mm まで検出できた。また、脂つきになると厚さ 5 mm でも検出できなかった。鶏肉と豚肉の結果を比べてみると、鶏肉の方がシャープペンシルの芯を検出できた。これは鶏肉の方が脂や筋が少ないためと考えられる。皮付きや脂付きだと検出できなかった。このことからある程度厚みがあるものを対象とすると検出が難しくなると考えられる。

4. 考察

4.1 反射光による静脈イメージング

手のひらと手首に LED の光を照射した場合、940 nm が最も鮮明に静脈を撮影できた。手の甲に LED の光を照射した場合、940 nm がよく撮影できたが、760 nm も鮮明に撮影できた。これは還元ヘモグロビンの光吸収率が高いためと考えられる。還元ヘモグロビンの光吸収率だけを考えると可視光領域のほうが吸収率が高いが、透過率が足りずに静脈を撮影できない。760 nm は可視光に比べると透過率もあるのでよく撮影できた。全体的に見て、4 種類の LED の中で最も鮮明に静脈を撮影できたのは 940 nm である。760 nm の撮影結果よりヘモグロビンの光吸収率の違いで撮影結果に大きく影響がでることが分かったが、透過率が最も高い 940 nm が 4 種類の LED の中ではベストであった。

撮影部位を比べると、手のひらは他の部位に比べてあまり静脈を撮影できなかった。これは皮膚から静脈の距離が

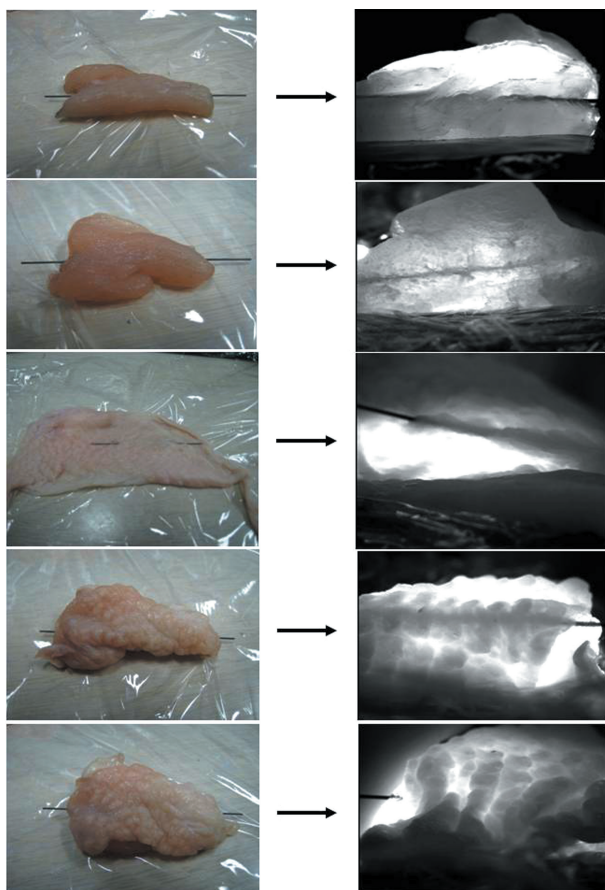


Fig.5 Transmitted NIR imaging of a mechanical pencil lead and chicken meat block/chop.

Left column: photographs, Right column: NIR images. The approximate thickness of the chicken meat are as follows; 5 mm and 10 mm chops without fat-rich skin, 1.5 mm (fat-rich skin only), 5 mm and 10 mm chops with fat-rich skin, from the top row to the bottom.

遠いことや、皮膚が他の部位に比べて厚いためと考えられる。手首、手の甲は静脈が皮膚に近く鮮明に撮影できた。

生体に負荷をかけて撮影することも試してみたので、画像は示さないがそのことについても簡単に説明する。まず、腕に輪ゴムをつけたり、手で圧迫して血流を止め血管を浮き出させて撮影してみた。そうすると少しだけだが通常より血管が撮影しやすくなった。

4.2 透過光による指静脈イメージングと皮下異物検出

シャープペンシルの芯を皮下に刺すという症例は珍しいわけではなく、一般の臨床医はしばしば現実的に遭遇するようである。指静脈イメージングと検出実験の結果から皮下異物の検出が可能と思われる。しかし、皮膚の厚さや脂肪の量によって検出能が変わる可能性がある。今回は指を想定して鶏肉と豚肉を用いた。人の指の場合であれば、指静脈イメージングの結果からもっとよく検出できるのではないと思われる。

今後の課題は、文献[4]で取り組まれているような tomo-synthesis の手法を応用して、指ないし皮下異物の存在する部位を撮影する際に深さを調整できるようにすることである。現在の方法では指の静脈を撮影することはできるが、狙った深さを撮影することができない。異物はどの深さまで入るかは一定ではないので、いろいろなパターンに対応するために深さの調整を実現したいと考えている。

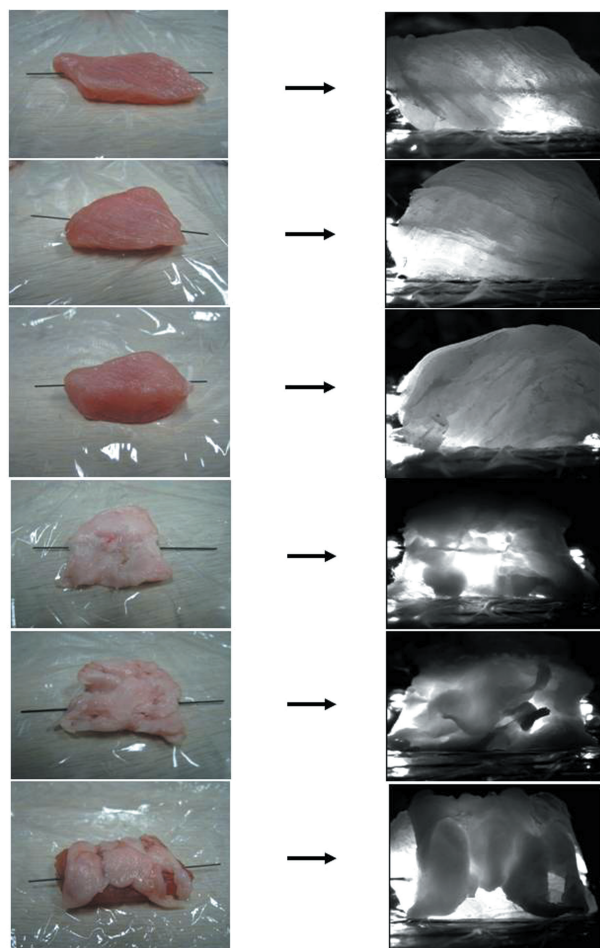


Fig.6 Transmitted NIR imaging of a mechanical pencil lead and pork meat block/chop.

Left column: photographs, Right column: NIR images. The approximate thickness of the pork meat are as follows; 5 mm, 8 mm and 10 mm chops without fat-block, 3 mm and 5 mm of fat-block only, 5 mm chop with 3 mm fat-block, from the top row to the bottom.

5. おわりに

「水の窓」と呼ばれる近赤外線の波長領域の LED を光源として、反射光および透過光による表在性血管のイメージングシステムを製作した。そして、手指の皮下異物として「棘」をイメージングできるか実験的に検討した。反射光イメージングには、可視光 LED を 1 種類と近赤外線 LED を 3 種類使用した。その結果から 940 nm の LED を選択し、棘による指創傷における皮下異物の検出実験に使用した。指を想定した鶏肉と豚肉に植物的な棘のかわりにシャープペンシルの芯を刺し、それが検出可能かどうか調べた。手のひら、手の甲と手首で撮影した場合、940 nm が最も鮮明に静脈を撮影できた。また、鶏肉に刺した芯は皮つきの厚さ 10 mm 以外はすべて検出できた。豚肉に刺した芯は、厚さ 8 mm まで検出でき、脂つきになると厚さ 5 mm でも検出できなかった。鶏肉と豚肉を比べると鶏肉の方が芯を検出できた。これは脂や筋が少ないからだと考えられる。皮付きや脂付きだと検出できなかったのも、ある程度厚みがあるものを対象とすると検出が難しくなると考えられた。このような指静脈イメージングと検出実験の結果から、皮下異物の検出が可能と思われる。しかし、皮膚厚や脂肪量によって検出能が変わる可能性がある。

参考文献

- [1] Miura N, Nagasaka A, Miyatake T : Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification. *Machine Vision and Applications*, 15, 194-203, 2004.
- [2] 河野美由紀, 梅村晋一郎 : 指静脈パターンを用いた個人認証技術. *生体医工学*, 44, 20-26, 2006.
- [3] 高木信一, 片山泰朗 : 近赤外線光を用いた *in vitro* ヒト血液透明化に関する検討. *日本医学放射線学会雑誌*, 60, 45-47, 2000.
- [4] Matsushita T, Miyati T, Nakayama K, Hamaguti T, Hayakawa Y, Farman AG, Kikuchi Y : Development of qualitative near infrared vascular imaging system with tuned aperture computed tomography. *Proceeding of SPIE International Symposium Medical Imaging*, Vol.6510, 65103G, 2007.
- [5] 山崎政城 : 皮膚内の棘の超音波像. *MEDIX Vol.47*, 27-32, 2007.
(<http://hitachimedicalsystems.com/medix/pdf/vol47/P27-32.pdf>)
- [6] Prahl S. : Optical absorption of hemoglobin. <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin/>. accessed at May 19, 2010.