

# Active aging を支援する人に優しい診断治療機器の開発

—低侵襲術中モニタリング装置及びリハビリ支援装置の研究開発—

酒谷 薫<sup>1</sup>、村山嘉延<sup>1</sup>、村山優太<sup>1</sup>、宗像忠夫<sup>1</sup>、薄井英行<sup>1</sup>、山下紘正<sup>2</sup>、千葉敏雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>日大工・電気電子、<sup>2</sup>日大・総合科学研究所

## 【背景】

医療現場では医療診断の精度向上、スピードアップ、受診者の負担軽減が必要とされている。特に高齢者を対象とした診断治療では、低侵襲の“人に優しい”診断治療法が望まれている。そこで我々は、次の医療機器の研究開発を行った。

- ① 近赤外光による血管血流イメージング装置
- ② 3D モーションセンサーによるリハビリ支援装置
- ③ 超高解像度 8K カメラによる内視鏡

福島県の復興のため、これらの装置 (①, ②) は県外大手企業と共に県内中小企業との産学連携体制で実用化を進めている。

## 【1】 CIGS イメージセンサーを使用した近赤外光イメージング装置の研究開発

外科手術用顕微鏡には CCD カメラが使用されており、その材料固有の特性から ICG などの蛍光材を用いた生体観察時は手術室を暗くする必要がある。また、より長波長の光で生体内部を非侵襲で観察したいというニーズもあるが CCD カメラの感度では測定不能である。この不具合を解決するために、可視光から近赤外領域まで高感度で撮像可能であるローム㈱の CIGS イメージセンサー技術を活用した近赤外光イメージング装置を開発した。なお、本研究開発は、ローム㈱及びアルファ電子㈱ (福島県須賀川市本社) との産学連携体制で実施した。

### 1. 方法

1-1 CIGSイメージセンサー：CIGSは、銅・インジウム・ガリウム・セレンの化合物で、広い波長

領域で太陽光を吸収できる太陽電池用材料として利用されており、これをイメージセンサに用いると、広帯域 (400~1200nm) を受光できる利点がある (図1) [1,2]。

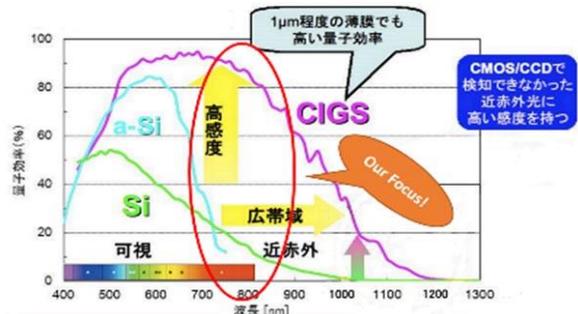


図1 CIGSイメージセンサーの波長特性  
縦軸：量子効率 (%) 横軸：波長 (nm)

### 1-2 近赤外光血管イメージング

本研究では CIGS センサーを装着したカメラモジュール (ローム社製) を使用した。LED を用いて 4 波長 (760nm、805nm、950nm、1070nm) の近赤外光を皮膚表面に照射し、CIGS カメラモジュールにて反射光を撮像した (図2)。



図2 CIGS カメラによる血管撮像実験

画像は専用ソフト (ローム社製) を用いて各波長での輝度値、輝度比を解析した。輝度比は最も太い静脈を横断する断面で算出した。

### 1-3 ICG 近赤外蛍光イメージング

インドシアニングリーン (ICG) は、血漿蛋白の

$\alpha$  リポタンパクと結合すると、近赤外光（波長 760nm 近傍）により励起され、蛍光（波長 845nm 近傍）を発生する。図 3 に ICG 吸光・蛍光スペクトルを示す[3, 4]。

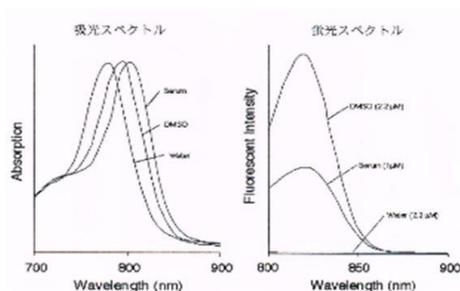


図 3 ICG の吸光スペクトル（左）と蛍光スペクトル（右）

静脈麻酔下のラットを開腹し、後大静脈から 5% 濃度の ICG 溶液を 0.05ml 注入し、その時の腹部臓器を撮像した。撮像には、光源（760nm の LED）及びハイパスフィルタ（800nm）を装着した CIGS カメラモジュールを使用した。

## 2. 結果

### 2-1 血管イメージング

図 4 に近赤外光を前腕部の手首に照射した撮影画像を示す。皮下静脈がイメージされているが、波長により明瞭度が異なるのが分かる。

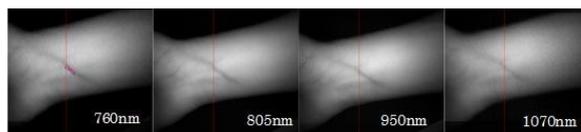


図 4 前腕部の皮下静脈のイメージングの差異（左より、760、805、950、1070nm）

図 5 は各波長における輝度値のラインプロファイルを示しているが、静脈部位で輝度値が低下しているのがわかる（矢印）。

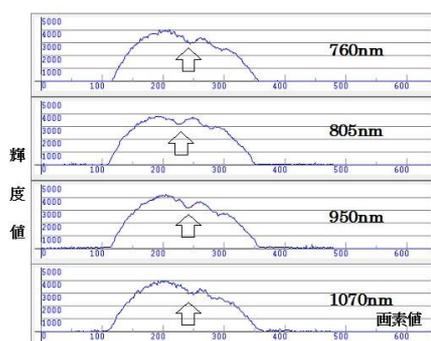


図 5 各波長におけるラインプロファイル輝度値は最も太い静脈を横断する断面で算出した（図 3 の赤線）。

図 5 では各波長における輝度値の低下程度が異なるため、波長ごとに輝度比を算出した。760 nm と 805nm、950 nm と 1070 nm の間には統計学的有意差 ( $p < 0.001$ ) を認めたと、805nm と 950 nm の間には認めなかった（図 6）。

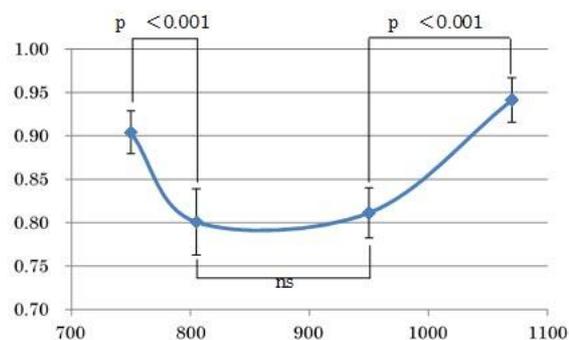


図 6 各波長の輝度比の比較  
横軸：波長（nm）縦軸：輝度比

## 3 まとめ

CIGS センサは、CCD カメラよりも近赤外光領域の感度が高く、比較的深部の血管・血流イメージングに適していると思われる。カメラのフォーカスによっても輝度比が変化するので、自動フォーカス機能が必要と考えられる。CIGS センサを用いることにより、脳外科手術における血流イメージングを非侵襲的に行える可能性があると考えられる。図 7 に脳動脈瘤クリッピング術における術中イメージングの一例を示す。



図 7 脳動脈瘤の血流一時遮断時の各波長における画像（総合南東北病院の協力による）

## 【2】 ゲーム用 3D モーションセンサーを用いたリハビリ支援装置の研究開発

リハビリにおける最も基本的な運動の一つに歩行訓練があり、施設では被訓練者の日々の機能改善状況を評価・記録しているが、自動的かつ定量的に評価することが難しいという課題がある。従来、3次元的に人間の動きを解析可能できるモーションキャプチャのようなシステムは非常に高コストかつ大型であったが、近年の技術革新によって、マイクロソフト社製キネクトのような小型かつ高性能なモーションセンサーが手軽に扱えるようになった。非接触で骨格認識や心拍測定等の機能が搭載されており、我々は、デザインウム㈱（本社福島県会津市）との産学連携でKinectを用いたリハビリ支援装置を開発した。

### 1. 方法

#### 1-1 開発目標

次の3項目である。

- ① 非接触の小型汎用センサーで低負担
- ② 運動や器具によらず定量的評価が可能
- ③ ゲーミフィケーション理論を導入し楽しくリハビリを継続できるソフトを設計

#### 1-2 システム構成

システム構成及び本システムを使用したときのイメージを図8に示す。市販のPCを使用し、狭いスペースでも運動機能を定量的かつ日接触で計測できる利点がある。



図8 システム構成及び利用イメージ

計測項目として、時間的指標(質的指標)として歩行速度 (m/秒)、遊脚期 (秒)、立脚期 (秒)、両脚支持時間 (秒)、歩行率 (step/分) など11項目を設定した。また、距離的・角度的指標(量的指標)として、歩幅 (m)、スライド長 (m)、股関節角度 (度) など4項目を設定した。

#### 1-3 測定精度検証

本システムの測定精度は、高精度の光学式モーションキャプチャであるVICONと比較した。図9に比較実験の様子を示す。



図9 VICONとの比較実験

### 2. 結果

歩行時の波形データを本システムとVICONで比較した(図10)。両波形は、Z軸、X軸、速度、ステップ検出と相似性は高かった。さらに、級内相関係数 (ICC : Intraclass Correlation Coefficient) による信頼性評価では、ICCはほぼ0.8以上であり、本システムはVICONとほぼ同等の測定精度を有すると考えられた。

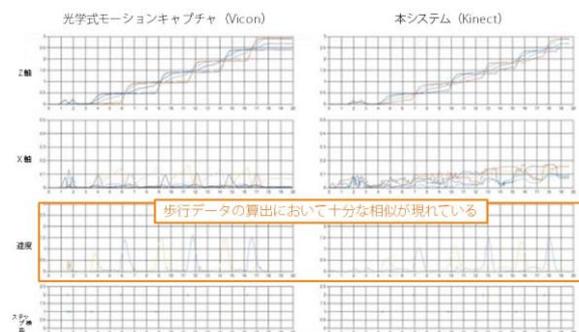


図10 歩行時の本システムとVICONの波形の比較

### 3. 今後の展開

本システムは、非接触で取得した骨格の3次元データを様々な訓練状況に対応して、リハビリの効果としての身体の機能改善を自動かつ定量的に評価できるシステムである。また、汎用機器を用いてコストとサイズを下げている、在宅や無床診療所など多くの施設で体系化されたリハビリを行うことを可能とし、医療介護サービスの効率化を図ることができるものと思われる（図11）。



図11 本システムを用いた医療介護サービス

リハビリや予防運動そのものの課題として、単調な繰り返し作業であり継続性に難があることが挙げられるが、ゲーミフィケーション理論を用いた演出やモチベーション設計によって克服し、リハビリ効果がより短期間で現れることを期待する。次の特徴を有するソフトを開発している。

(a) 体動に合わせて音が鳴る等の演出があり、段階的なモチベーション設計によって被訓練者が楽しく積極的に続けられる。

(b) 心拍やニューロフィードバックで被訓練者の状態に合わせて運動ペースが変化する

#### 【3】 8K 手術用顕微鏡システムの開発

8K カメラは日本で開発された映像技術である。現在のビデオシステムの中で最も高性能であり、約 3300 万画素の解像度をもつ。千葉ら（日大総合科学研究所）はこの技術を応用した 8K 内視鏡

システムを開発してきた。8K 内視鏡システムは、従来の内視鏡（ハイビジョン＝横方向の画素数がおおよそ 2000＝2K）と比べ縦 4 倍×横 4 倍の画素数を持つ内視鏡カメラを使用することで、16 倍高精細に観察可能である。本年度は、8K カメラの顕微鏡手術の実用性評価のため、動物実験による観察を行った（図 12）。

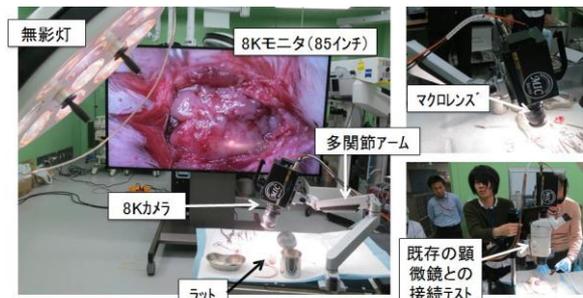


図 12 8K カメラによる顕微鏡手術の評価実験

#### 1. 方法

8K カメラ（JVC 製）を多関節アームに設置し、無影灯下にラットの腹部臓器を撮像した。ラット（♂、200 g）はペントバルビタール（30～40mg/kg）腹腔内投与により全身麻酔を実施した。動画像は 8K 専用 85 インチモニター（パナソニック社製）で観察した。

#### 2. 結果

本実験により、術野全体を俯瞰しながら、手術部位のみを画質を落とすことなくズーム表示が可能となり、高い安全性を担保できる新しい手術空間を得ることができると思われた。さらに今まで肉眼でも見えなかったものが見えるようになることで、重要組織の境界面や、微細な血管、神経、縫合糸までも見分けることができるようになり、患者にとってもダメージが少ない低侵襲外科手術も可能になると思われた。

#### 参考文献

[1] K. Sakurai, R. Hunger, R. Scheer, C. A. Kaufmann, A. Yamada, T. Baba, Y. Kimura, K. Matsubara, P. Fons, H. Nakanishi and S. Niki: Prog. Photovolt. Res. Appl.12 (2004)  
[2] K. Miyazaki, O. Matsushima, M. Moriwake, H. Takasu, S. Ishizuka, K. Sakurai, A. Yamada and S. Niki:Thin Solid Films517 (2008) 7.  
[3]酒谷 薫、柏酒雅貴、医用電子と生体工学 34: 26-32,

1996

[4] Sakatani K,et al. Journal of Neurosurgery 87:  
738-745, 1997