解説

一瞬を超えるセンシングがもたらす医工連携の新展開

—広島大学 21 世紀 COE プログラム「超速ハイパーヒューマン技術が開く新世界—21 世紀産業革命にむけて—

Hyper Human Technology Opens a New Area for Medical Diagnosis

—Hyper Human Technology toward the 21st Century Industrial Revolution—

栗田 雄一^{*1} 金子 真^{*2} 岡島 正純^{*3}^{*1}広島大学大学院工学研究科 ^{*2}大阪大学大学院工学研究科 ^{*3}広島大学大学院医歯薬学総合研究科Yuichi Kurita^{*1}, Makoto Kaneko^{*2} and Masazumi Okajima^{*3}^{*1}Graduate School of Engineering, Hiroshima University ^{*2}Graduate School of Engineering, Osaka University^{*3}Graduate School of Biomedical Sciences, Hiroshima University

1. はじめに

人間の能力をはるかに超えた技術の総称をハイパーヒューマン技術と呼ぶ。広島大学 21 世紀 COE プログラム「超速ハイパーヒューマン技術が開く新世界」では、ハイパーヒューマン技術を支える要素技術のうち、高速ビジョンと高速アクチュエーションの二つの革新的技術を軸として、これらシーズ技術のさらなる発展と、両者を融合することによる生物学、医学など様々な分野への展開を目指している。

図 1 は本拠点の概要を示した図である。ここでは二つの方向性を考えている。一つは人間の能力をはるかに超えた上記二つのハイパーヒューマンシーズ技術を一層レベルアップするとともに、その延長線上に存在する応用分野を模索する方向性である。もう一つは、両技術を個別、和算、融合的に利用することで、ロボット工学だけでなく、医学、バイオセンシング、社会基盤応用といった学際分野を構築していく方向性である。このように本拠点の特徴は、単にセンサやアクチュエータの開発にとどまるのではなく、それらを使って新しい発見、ひいては新しい学術分野の構築まで視野に入れている点にあり、ハイパーヒューマン技術を基礎として 21 世紀の産業革命を引き起こすリーダーシップを持つ人材を育成するため、工学分野だけでなく学際領域に精通する教育を行うことを目的としている。

本稿では、医工連携という学際領域研究の中で、特に学生を含めた若手研究者がどのようにしてテーマを見つけ、研究を進めているのかという点についてまとめたうえで、筆者らが携わってきた眼剛性センシングを例に具体的な取り

図 1 広島大学 21 世紀 COE プログラムの概要

組みについて解説したい

2. 学際連携プログラムによる医工連携

本拠点の特色ある活動の一つとして、学際連携プログラムが挙げられる。本プログラムは学際領域で活躍できる若手研究者の育成を目的としているが、その一環として医工連携ゼミ (図 2 (a)) が開催されており、工学系と医学系の研究者がいくつかのテーマに分かれて活動している。これにより我々工学系の研究者が医学系の研究者と密に連絡を取り合いながら様々な研究テーマを検討できるようになり、また広島大学病院の協力を得て手術室内での実験も比較的にスムーズに行えるようになった (図 2 (b)) ことは、若手研究者にとって活動の幅を広げる大きなチャンスとなった。図 3 は医工連携分野における研究プロジェクトの例を挙げたものである。病巣診断では患部のインピーダンス情報が重要な評価指標となりうるため、肺 [1]、胃 [2]、皮膚 [3]、血管 [4] などにおいて、高速ビジョン技術等を用いたダイナミック診断に関する研究が行われている。さらに眼の剛性情報の計測も眼圧検査において重要視されつつあり、空気噴流印加時の角膜変形を高速カメラを用いてとらえる試みも行われている。眼剛性計測では、40 [ms] 以下の時間内で 500 [μ m] 以下の生体変形をとらえるという厳しい時間

原稿受付 2007 年 1 月 4 日

キーワード: Hyper Human Technology, Vision, Actuation, Medical Application, Eye Stiffness

^{*1}〒 739-8527 広島市鏡山 1-4-1^{*2}〒 565-0871 吹田市山田丘 2-1^{*3}〒 734-8551 広島市南区霞 1-2-3^{*1}Higashi-Hiroshima-shi, Hiroshima^{*2}Suita-shi, Osaka^{*3}Minami-ku, Hiroshima-shi, Hiroshima

(a) 医工連携ゼミ

(b) 手術室における臨床実験

図2 医工連携プログラム

図3 医工連携で生まれた研究プロジェクトの例

的・空間的な制約があるものの、ハイパーヒューマン技術の応用事例としては格好の対象ともいえる。

3. 眼剛性センシング [5]~[7]

緑内障診断を想定した非接触眼圧測定では、高速空気噴流を押し当てることで角膜を変形させ、その変形情報を光学センサでとらえることで眼圧を推定している。しかし現在一般に使われている眼圧推定理論は、角膜の厚みや硬さなどの眼圧に依存しない眼の構造的な硬さの個人差を一切考慮していないために、眼の硬さが著しく平均と異なる人については眼圧を誤推定する可能性が指摘されていた。近年、装置で計測した眼圧値は正常範囲内であるにもかかわらず緑内障の症状が進行する、正常眼圧緑内障 (NTG: Normal Tension Glaucoma) と呼ばれる症状が問題となっており、NTG 患者の一部は眼圧を誤推定していることが原因ではないかとも言われている。そこで本研究では、生体の眼の硬さ (眼剛性) の計測にチャレンジしている。

眼に刺激が入ると人は反射的に瞼を閉じ始めるが、瞼を完全に閉じるのにかかる時間は約 50~70 [ms] であり、角膜変形をとらえるにはそれ以上の、まさに「一瞬」を超えるセンシング能力が要求される。図4は、高速空気噴流システムと1秒間に5,000枚 (5,000 [fps]) の撮影が可能な高速カメラにより構成された角膜変形計測システムである [5]。また図5上段は角膜変形の様子を2 [ms] おきに表示したものであり、下段は画像処理により角膜表面エッジを抽出した結果である。空気噴流印加時の角膜変形をこま

図4 角膜変形計測システム

図5 空気噴流印加時の角膜変形

(a) 変位と印加力応答

(b) 推定眼圧と眼剛性

図6 変位応答と眼剛性

で明瞭に撮影した例はなく、眼科医師でさえも映像を見て驚きの声をあげていたのが印象的であった。

図6(a)は角膜頂点部分の変形量と空気噴流による印加力をプロットした結果であり、推定眼圧 (IOP) が高いほど角膜の変形量が小さいことが確認できる。計測した変形量と力をもとに被験者 56 名の眼剛性を計算した結果を図6(b)に示す。剛性と推定眼圧には高い相関が観察できるが、同一の眼圧が推定されていても異なる剛性を持つ被験者がいることも分かる。ここで剛性が平均から大きく外れた患者については眼圧の誤推定が起きている可能性があり、これら患者に対して警告を発することができれば眼圧の誤推定が原因の緑内障見逃しを防げる可能性を秘める。また、空気噴流印加時の角膜変形には角膜特有の性質から印加力に対して変形が遅れる現象が観察され、これが見た目の剛性値を引き上げる原因となっていることも明らかになった。そこで直接接方式での眼剛性センシングも試みており [7]、

(a) プローブ接触時の角膜変形

(b) 接触面

図7 接触プローブを用いた変形計測

接触面積を同時計測することで眼圧と変形との関係をより詳細に解析している(図7)。緑内障は日本国内だけでも数百万人はその可能性があるといわれるポピュラーな病気であり、眼の構造的な剛性の影響を考慮に入れた内圧の直接推定手法の確立を目指して今後も研究に取り組んでいきたい。

4. おわりに

筆者が医学系研究者と何度も議論する中で感じたのは、臨床現場には工学的な知見を活かせる研究対象が数多くあり、そして現場の医師も工学系研究者に対して大きな期待を寄せてくれている、という点である。工学系、医学系研究者にはそれぞれ得意な領域が存在するが、両者が知識を共有し議論を深めることで研究が具体化していくプロセスは極めてエキサイティングな体験である。また筆者は本拠点の若手海外派遣プログラムの支援により2006年1月から3月まで、The State University of New York at Stony BrookのProf. Imin Kaoの研究室に滞在させていただいた。

た、短期間の滞在ではあったが、粘弾性接触理論についてレクチャーいただけるなど有意義な時間を過ごすことができた。拠点の支援のもと若手研究者が海外の研究者と触れ合える機会も確実に増えており、今後もこの環境を有効活用して臨床応用を見据えた研究活動を行っていききたい。

本拠点の詳細については下記サイトをご覧ください。なお本拠点リーダーは2006年10月1日をもって金子真教授に代わり岡島正純教授が就任されたことを付記させていただきます。<http://www.hfl.hiroshima-u.ac.jp/COE/>

参考文献

- [1] 川原知洋, 戸倉雅詞, 石井抱, 金子真, 宮田義浩, 岡島正純, 浅原利正: “位相差強調型腫瘍イメージャー—VATSへの応用—”, 日本コンピュータ外科学会誌, vol.8, no.2, pp.78-84, 2006.
- [2] T. Kawahara, S. Tanaka and M. Kaneko: “Non-Contact Stiffness Imager,” The Int. J. of Robotics Research, vol.25, no.5-6, pp.537-549, 2006.
- [3] N. Tanaka and M. Kaneko: “Skin Surface Shock Wave,” Proc. of the IEEE Int. Conf. on Engineering in Medicine and Biology, pp.4123-4126, 2006.
- [4] 坂根彰, 柴建次, 辻敏夫, 佐伯昇, 河本昌志: “確率ニューラルネットワークを利用したオンライン血液循環状態診断支援システムの開発”, 医科器械学, vol.76, no.1, pp.12-20, 2006.
- [5] 金子真, 徳田寛一, 飯田義親, 栗田雄一, Kempf Roland, 川原知洋, 石井抱, 河野進, 三嶋弘, 塚本秀利, 杉本栄一郎: “眼剛性センシング”, 計測自動制御学会論文集, vol.42, no.2, pp.103-110, 2006.
- [6] 金子真, Kempf Roland, 栗田雄一, 飯田義親, 石井抱, 三嶋弘, 塚本秀利, 杉本栄一郎: “高速非侵襲計測による生体眼エイジング効果の発見”, 計測自動制御学会論文集, vol.42, no.10, pp.1093-1099, 2006.
- [7] Y. Kurita, Y. Iida, R. Kempf, M. Kaneko, E. Sugimoto, H. Tsukamoto and H.K. Mishima: “Contact Probe Based Stiffness Sensing of Human Eye,” Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2972-2977, 2006.

栗田雄一 (Yuichi Kurita)

2004年12月奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。2005年1月より広島大学大学院工学研究科特任教員。ヒューマンモデリングや生体センシングの研究に従事。(日本ロボット学会正会員)

岡島正純 (Masazumi Okajima)

1989年広島大学大学院医学系研究科博士課程修了。医学博士。1990年中国労災病院外科副部長, 後に部長。1992年広島大学医学部勤務, 1995年同助手, 1999年同講師。2002年同大学大学院医歯薬学総合研究科講師, 2003年同助教授。2005年10月より同大学大学院内視

鏡外科学講座教授。内視鏡手術ならびに消化器(主に大腸)の臨床・研究に従事。

金子 真 (Makoto Kaneko)

1981年東京大学工学系研究科博士課程修了。工学博士。同年通産省工業技術院機械技術研究所入所。1990年九州工業大学情報工学部機械システム工学科助教授。1993年広島大学工学部第二類教授。2006年10月より大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻教授。アクティブセンシングや把握戦略の研究に従事。

(日本ロボット学会正会員)