学術・技術論文

# 非接触剛性イメージャ

## 川 原 知 洋\*1 松 永 佐斗志\*2 田 中 信 治\*3 金 子 真\*1

### Non-contact Stiffness Imager

Tomohiro Kawahara<sup>\*1</sup>, Satoshi Matsunaga<sup>\*2</sup>, Shinji Tanaka<sup>\*3</sup> and Makoto Kaneko<sup>\*1</sup>

This paper proposes the Non-contact Stiffness Imager that can provide us with the pattern of stiffness distribution of environment. While there are four combinations between the force applying method and the way for capturing the displacement, we pick up the combination in which the force is given to the environment at a local point and the displacement of environment is measured over the neighboring area where the force is given. We confirm the basic idea by utilizing the experiment system composed of an air supply system and a line laser sensor. We apply the idea to an endoscope camera, so that we can obtain the pseudo-stiffness pattern as well as the visual pattern. We also show a couple of experimental results exhibiting the pattern.

Key Words: Stiffness Imager, Non-contact Sensing, Stiffness Pattern

#### 1. はじめに

近年,人体内のガン組織の検査に PET (Positron Emission Tomography)が用いられている [1]. この装置を用いると非接 触・非侵襲でガンの有無,さらにはガンが存在する部分の位置が 検知できるものの,医師が治療を行ううえで必要とされるガン の進行状態といった質的情報を得ることはできない.一方,ガン 細胞を含めた生体内の病巣は周りの組織に比べて硬さが異なっ ている場合が多く [2] [3],医師からは臓器の硬さを調べて診断の 手掛かりにしたいという要望が出ている.胃の診断の場合,主 流となっている方法は,内視鏡先端の CCD カメラで胃表面の 状態を視覚的に観察するというものである [4].また,胃内部に 水を満たした状態で超音波内視鏡を用いれば,密度分布を介し て深層組織の状態を映像化することができるものの [5],得られ る白黒濃淡映像によって硬さの違いまでを明確に識別すること は困難である.

これに対し,筆者らは,一般的な内視鏡で視覚情報を得つつ, 先端部から空気や水といった流体噴流を胃壁面に当てて力を印 加し,そのときの胃壁の変位から胃の硬さを計測することがで きるハイブリッド型内視鏡を提案してきた[6][7].流体噴流を 用いる最大のメリットは,接触式のプローブに比べて胃壁に働



Fig. 1 Conceptual image of stiffness imager

く摩擦力を小さく抑えられるため, 臓器を傷つけずに安全にセ ンシングできる点である.一方,文献[6][7]では局所的な点で の剛性を正確に測定することを重要視していたため,胃壁全体 を走査するのに時間がかかり効率的ではないといった問題をは らんでいた.生体を対象にした硬さ計測の場合,重要なことは, 硬さの絶対値というよりも,むしろ周りの組織と相対的に硬さ の違う部位の検出である.

以上のような背景を踏まえ、本研究では、絶対的な硬さでな く、周りとの相対的な硬さの違いが広範囲にわたって観察でき るような"非接触剛性イメージャ"という概念を新たに提案す る.非接触剛性イメージャは流体を媒体として環境に力を加え、

原稿受付 2005 年 2 月 28 日

<sup>\*1</sup>広島大学大学院工学研究科

<sup>\*&</sup>lt;sup>2</sup>NTT コムウェア株式会社

<sup>\*3</sup>広島大学大学院医歯薬学総合研究科

<sup>&</sup>lt;sup>\*1</sup>Graduate School of Engineering, Hiroshima University

<sup>\*2</sup>NTT COMWARE Co., Ltd.

<sup>\*&</sup>lt;sup>3</sup>Graduate School of Biomedical Sciences, Hiroshima University

そのときの変位分布から環境の剛性分布を視覚的にとらえるセ ンシングシステムである.なお、ここで提案する非接触剛性イ メージャは臓器のみに限らず、生体全体の硬さ分布を観察する手 段として利用できる可能性があることを強調しておきたい.以 下、本論文では2章で非接触剛性イメージャの一例を示すとと もに、その基本的分類を行う.3章では、基礎的な実験を通し て非接触剛性イメージャの有効性について検証する.4章では 非接触剛性イメージャを内視鏡に応用した例について示し、今 後の課題についても言及する.

#### 2. 非接触剛性イメージャ

#### 2.1 剛性イメージャとは

Fig.1 に剛性イメージャの概念図を示す.例えば、同心円状の リングパターンを対象物に照射した状態を考えよう.ただし、対 象物内には硬さの異なる異物が入っているものとする. Fig.1(a) のように指先で対象物を押すと、硬さ分布が一様であれば、対 象物が変形しても同心円の間隔は変化するかもしれないが、円 自体の形は変わらない、ところが硬さ分布が一様でないと円の 形自体が歪んでくる。この歪みの形から周囲と硬さが異なって いる部分を一目で見分けることができる.これが剛性イメージャ の基本概念である.剛性イメージャは、ヒト肌や臓器のように 表面に垂直方向から力を加えた場合に、周囲も引き連れて変形 するような対象物の中から硬さの異なる部分を抽出する際、有 効な検出手段になる.ただし,指や押し棒で対象物を押す接触 方式の場合, Fig.1(a) のように視野の一部に死角ができたり, 対象物を傷つけたりする.これを防止するため, Fig.1(b)のよ うに流体噴流を用いて非接触で対象物の剛性パターンを観察で きるようにしたものが非接触剛性イメージャである.本稿では 生体への応用を意識し、特に非接触剛性イメージャに限定して 議論する.なお、リングパターンはあくまでも一例で、硬さ情 報を色や濃淡で提示しても一向に構わない.

#### 2.2 非接触剛性イメージャの分類

Fig.2 は非接触で剛性を調べる方法を整理したものであり、 力の印加方法,変位の検出方法に応じて,大きく四つのパター ンに分類することができる.タイプIは力をポイントで与え.そ の点の変位を一次元変位センサで測るタイプ、タイプⅡは力を ポイントで与え、その点周りの変位を二次元変位センサで測る タイプ,タイプ Ⅲ は力を面で与えて,一点の変位を一次元変位 センサで測るタイプ,タイプ IV は力を面で与えて,変位を二 次元変位センサで測るタイプである.ここに、タイプ I は従来 の非接触インピーダンス(剛性・粘性・慣性)センサ[8]に相当 する. タイプⅡは Fig.1 の例の場合に対応し, 生体組織の引き 連れ特性をうまく利用する方法である. タイプ Ⅲ では一次元 の変位に着目しているので、力を面で与えるのは実質的に意味 をなさない、この場合、一次元変位センサの計測位置に力を加 えれば十分であるから、実際にはタイプIに帰着させることが できる. タイプ IV は幅広い範囲で剛性パターンが観察できる という意味において意義深いが、実際には広い範囲にわたって 一様に力を対象物に加えることが困難である.ここでは、タイ プⅡ, IV を非接触剛性イメージャと呼ぶことにする.本論文で は、以下、力の印加の容易性を考慮し、タイプⅡの非接触剛性



Fig. 2 Four types of combination between force impartment and displacement measurement



イメージャに着目する.

Fig.3 は従来のポイント型剛性センシングとの比較におい て非接触剛性イメージャの決定的優位性を説明した図である。 Fig.3(a)のようなポイント型の場合,広い範囲をカバーするた めには,隙間なくセンシング動作を繰り返す必要があるのに対 して,非接触剛性イメージャの場合,広い範囲をカバーするた め,相対的に Fig.3(b)のように高速かつ効率よくセンシング を完了することができる。

#### 3. 基礎 実験

#### 3.1 実験装置および測定方法

Fig. 4 (a) に実験装置の構成を示す [9]. 実験システムは大き く分けて、力発生系と変位取得系からなる.力発生系は、エア ホース、電磁弁、空気圧発生用エアコンプレッサで構成されて いる.エアホース先端のノズルは、噴流の拡がりが小さくなる ように考慮して内径 2 [mm] のものを使用し、幾何学的制約か ら変位取得系の中心から 20 度傾いた状態で設置している.これ により、空気噴流の拡がりは、対象物から距離 60 [mm] を保っ た状態で半値幅約 10 [mm] である.また、印加する空気圧は 0.15 [MPa] 程度で一定である.変位取得系は、ライン型変位計 (KEYENCE:LJ-080、変位分解能: Z 方向 10 [μm], X 方向 40 [μm]) をモータで回転させて対象物の三次元形状を取得する.



Fig. 4 Experimental system

変位分布取得方法について述べる.変位計は Fig. 4 (b) に示 すように設置されている.ここに、 $\Sigma_o$  は絶対座標系であり、 $\Sigma_s$ は変位計の位置に固定された絶対座標系である.変位計の検出 領域は、W = 40 [mm]、L = 40 [mm] とし、 $X_s Y_s$  面内での 変位計の測定可能領域は  $(X_s^{min}, Y_s^{min}) = (-20, -20)$  [mm],  $(X_s^{max}, Y_s^{max}) = (20, 20)$  [mm] である.ここで、点  $(X_s, Y_s)$ における変位を  $d(X_s, Y_s)$  とすると、 $d(X_s, Y_s) \in R^{1\times m}$  は

$$\boldsymbol{d}(X_s, Y_s) = \boldsymbol{d}_a(X_s, Y_s) - \boldsymbol{d}_b(X_s, Y_s)$$
(1)

のように求めることができる.ただし,添え字の "a", "b" は それぞれ,対象物に力を印加する前後の状態を表す.これを変 位計を  $[-\theta_o, \theta_o]$ の範囲で回転させて n 回の測定を行えば,

$$M = \begin{bmatrix} d(X_{s1}, Y_{s1}) & \cdots & d(X_{sm}, Y_{s1}) \\ \vdots & & \vdots \\ d(X_{s1}, Y_{sn}) & \cdots & d(X_{sm}, Y_{sn}) \end{bmatrix}$$
(2)

のように変位分布行列  $M \in \mathbb{R}^{n \times m}$  を得ることができる.

次に,測定対象内に存在する異物など硬い部分を強調する方 法について示す.測定対象を  $Y_s$  方向に  $\xi$  だけ動かしながら合 計 q 回の測定を行ったとき, p 回目に測定した変位分布行列を  $M^{(p)}$ とする.これを用いて,変位分布の差分行列  $\Delta M^{(p)}$ を

$$\Delta M^{(p)} = M^{(p+1)} - M^{(p)}$$

で定義する.測定対象が均一な硬さの場合,理想的には $\Delta M^{(p)}$ のすべての要素が0となるが, $(X_s, Y_s)$ に硬さの違う部分が存在する場合, $\Delta M^{(p)}$ の要素の中に0ではない要素が現れる. よって $\Delta M^{(p)}$ の(u, v)要素の値がある閾値を越えたときに点 $(X_{su}, Y_{sv})$ に硬さの違う部分が存在しているとみなすことができる.



#### 3.2 実験結果

測定対象としては、プラスチック容器(縦130 [mm]×横70 [mm]×高さ55 [mm])に脱脂綿を詰め、その上に伸縮性のある布をかぶせたものを用いた.比較のため、測定対象にシリコン(縦5 [mm]×横5 [mm]×高さ35 [mm])を( $X_s, Y_s, Z_s$ ) = (3, 0, -H-1) [mm]の部分に柱のように埋め込んだ場合と、取り除いた場合について実験を行った.ただし、H は対象物表面から  $\Sigma_s$ の原点までの高さである.なお、市販の接触式硬度計(TECLOCK:SGSD-754)で測定を行ったところ、シリコンを入れない場合の対象物中心部の硬度は21.5、シリコン自身は69.5 とおよそ3倍の違いがあった.

**Fig. 5**(a) は対象物内にシリコンを入れない状態で点  $(X_s, Y_s, Z_s) = (0, 0, -H) [mm]$ をめがけて空気噴流を印加し, そのときの変位分布行列 *M*を計測して濃淡像として表示した ものである.この場合,  $(X_s, Y_s, Z_s) = (0, 0, d(0, 0)) [mm]$ を 最大変位として,すり鉢状に変形している様子が分かる.また, Fig. 5 (b) はシリコンを対象内に埋め込んだ場合の計測結果であ る.この場合,シリコンは膜の変形に比べてほとんど変形しな いため, Fig. 5 (a) のように相対的に硬さの違う部分が視覚映像 として観察できる.

次に、イメージャを定量的に評価する.シリコンで作成した 環境の中に異物を埋め込んでその深さと異物の大きさを変化さ せた場合にその影響を観測できるかを調べる.シリコンの硬さ は人の上腕と同程度の硬さとなっており(硬度は 7.5)、異物は プラスチック製の剛球で、直径が 4, 8, 12 [mm] の3 種類を用 いる.これらの剛球を、 $Z_s$ =-H-2, -H-6, -H-10 [mm] の位置 に埋め込んだものを、 $Y_s = 20$  [mm] を始点として  $Y_s$  方向に  $\xi = 4$  [mm] ずつ移動させながら計 11 回の変位分布を測定した. この実験では、先ほどの実験よりも対象物と埋め込んだ剛球の



Fig. 6 Experimental results (diameter: 12 [mm], depth: 2 [mm])

硬度差は大きくなっているものの、対象物の変形に伴って剛球 も移動するため、検出の難易度としては先の実験より高くなる ことに注意されたい、 $M^{(p)}$ の $X_s = 0$ に対応する列を取り出 してベクトル $\mathbf{r}^{(p)} \in \mathbb{R}^{1 \times n}$ 

$$\boldsymbol{r}^{(p)} = [d(0, Y_{s1}), \dots, d(0, Y_{sn})]^T$$
(3)

とし、さらにベクトル  $\Delta r^{(p)}$ 

$$\Delta \boldsymbol{r}^{(p)} = \boldsymbol{r}^{(p+1)} - \boldsymbol{r}^{(p)} \tag{4}$$

を定義する. Fig. 6 に剛球の直径が 12 [mm],  $Z_s$ =-H-2 [mm] の 場合の実験結果を示す. Fig. 6 のおのおのの図は,上段に  $\Delta r^{(p)}$ を,下段に $r^{(p)}$ をプロットしたものである. 閾値を ±0.8 [mm] とし,  $\Delta r^{(p)}$ が閾値より大きくなった点に矢印を表示して検出 を提示している. なお,閾値の設計はノイズなどの影響による 誤認識をさけるために,剛球を埋め込んでいない対象物を測定 した場合の  $\Delta r^{(p)}$  の最大値 (0.4 [mm])を考慮し,2倍の余裕 を設けた.結果より,剛球が移動するにつれて変形のパターン が変化している様子が確認できる.また,Fig. 6 の#6~#7 で は剛球が ( $X_s, Y_s$ ) = (0,0) [mm] 付近にさしかかっていること



から変位自体が小さくなっている. このような剛球の直径と深 さのパラメータの場合, #1~#10 のうち7回において異物の 影響を検出することができた. Fig.7 に剛球の直径と深さのす べて組み合わせにおける検出回数を示す. 結果より, 剛球が表 面から2[mm]の比較的浅い位置に存在する場合には剛球の直 径によらず5回以上の検出となっているが,深い位置にある場 合には検出回数が減少していることが確認できる. 今回の実験 において,検出成功を検出回数が3回以上と規定すれば,検出 可能な剛球の深さ *D*<sub>e</sub> と直径 *D*<sub>i</sub>の関係は

$$\frac{D_i}{D_e} > 1.3 \tag{5}$$

と表すことができる.なお,深い位置にある異物に対しては,対 象物を傷つけない弾性変形の範囲内で印加力を大きくして,変 形のパターンを強調させることで検出感度を改善するなどの対 策が必要となる.このように非接触剛性イメージャは単にイメー ジ化して提示できるだけでなく,必要に応じて定量化できるこ とを付記しておきたい.

#### 4. 内視鏡への応用

非接触剛性イメージャを内視鏡に応用する場合,変位計やパ ターン投光機の組み込みはスペース上の問題により内視鏡の大 幅な設計変更が必要となってしまうが,既存の内視鏡に装備さ れた CCD カメラ,ライト,鉗子口を活用することで従来の内 視鏡の仕様を変更することなく剛性イメージャを構築すること ができる.このように既存の内視鏡を大幅に変更することなく 剛性イメージャを構築できる点が普及を期待するという意味に おいて重要である.力印加系としては Fig.8に示すように鉗子 口にホースを通し,胃壁に対して空気圧や水圧を印加する.ま た,変位取得系としては内視鏡先端のライトが作り出す光の強 度情報を用いて,CCD カメラで撮像した胃壁の変形を光の強 度情報としてとらえることで等価的な剛性分布を視覚的に表示 する.

#### 4.1 測定原理

内視鏡先端からのライト光が **Fig.9**(a) のような強度分布を 有する場合,この光を平面の対象に照射すると、CCD カメラで 取得した映像は同様な輝度分布となる.この分布をコンピュー タによって 0 から  $2^n - 1$ の  $2^n$  段階で表現する場合,輝度値に



Fig. 8 Application to endoscope camera



(c) Top view of S Fig. 9 Brightness pattern

係数 $\alpha$ を乗じて,意図的にオーバーフローさせることを考える. すなわち,取得した画像 ( $i \times j$ )の各画素に対して

$$Q(i,j) = \alpha \times \frac{R(i,j) + G(i,j) + B(i,j)}{3}$$
(6)

なる処理を行う.書き換えると

$$Q(i,j) = 2^{n}k_{1} + S(i,j)$$
  
(k<sub>1</sub> = 0, 1, 2, ..., 0 < S(i,j) < 2<sup>n</sup>) (7)

となり、S(i, j)のみを表示させれば、同心円状の等高線パター

Fig. 9 (a) を処理した場合には, 輝度値  $2^{n} - 1$  を超えた部分は除 かれ Fig. 9 (b) のような輝度分布となり, Fig. 9 (c) に示すよう なパターンが現れる. Fig. 9 (b) は Fig. 9 (c) の A–B 断面を観 察したものと理解することができる. これにより, 胃壁が変形 すると, それに応じて CCD カメラで得られる輝度も変化する ため, Fig. 9 (a) ような場合では等高線の幅が変化し, Fig. 9 (b) ではそれに加えて等高線に歪みが生じるため, 硬さ分布の影響 を相対的に観察することができる.

4.2 実験

Fig. 4(a) と同様の力発生系を用いて、内径 1.8 [mm] のホースを内視鏡(FUJINON: EG-200HR)に挿入して実験システ



Fig. 11 Resolution



Fig. 12 An overview of the experiment

ムを構築した.また、内視鏡映像はプロセッサ(FUJINON: EPX-201)を介してコンピュータ内に取り込んで画像処理・表示を行う.この実験システムを用いて、**Fig.10**(a)のように CCDカメラで取得した映像((*i*, *j*) = (320, 240) [pixel])に対 して、Fig. 10 (b)のような等高線パターンを生成した(*n* = 8,  $\alpha = 4$ ).

Fig. 10(b)のパターンに対して,変位に対する感度を確認す る実験を行った.測定方法としては,表面が平らなシリコンを 測定対象とし,内視鏡先端との基準距離を 15[mm] として,ス

セル数でどれだけの変化が現れるかを測定した.Fig.11 の測 定結果より, αを大きくするにつれて, 変位に対する感度が大き くなっているのが分かる.ただし, αを大きくしすぎると,等高 線同士の幅が小さくなり過ぎて検出を妨げてしまうことになっ てしまう.また,この実験により 0.05 [mm] 程度の分解能があ ることが確認できた.

次に, Fig.12 のように円筒にゴム膜を張った測定対象で実 験を行った.ゴム膜の裏側には一部分だけ作為的にシリコンを 塗布して硬くしてあり,この測定対象に対して空気噴流を印加 しながら内視鏡を移動させた.実験結果を Fig.13 に示す. #1 は空気噴流を印加する前の画像であり, #2 で空気が印加され



Fig. 13 Experimental results

ると等高線パターンが変化していることが分かる.また,#4~ #6 では部分的に硬くした部分に差し掛かっており, CCD の画 像よりも S(i,j) マップの方がより顕著に硬さの違いを浮き彫り にしていることが確認できる.以上の実験より,このようなシ ンプルな方法によっても非接触剛性イメージャの効果が得られ ることが確認できた.

#### 4.3 考察

前節では、空気噴流を用いて実験を行ったが、実際に人間の 胃を対象にした場合、空気噴流では力が弱く胃を十分に変形さ せることができない.そこで、ここでは Fig. 14 のように人間 の胃に水を溜め、通常は胃を洗浄するためのウォータージェット 内視鏡 (FUJINON: EG-450HR)を流用して水を胃壁に吹き 付ける方法を採用した.内視鏡には専用のポンプ (FUJINON: JW-1)によって水が供給されている.このときの CCD カメラ の映像を Fig. 14 (a)に、光の強度分布を用いて同様に画像処理 を行った結果を Fig. 14 (b)に示す (n = 8,  $\alpha = 7$ ).胃壁に水 流を噴射した場合に当たっている部分では次第に変形が大きく なり、それに対応して明らかにパターンが変化していることが 確認できる.

一方,実際に応用する場合の問題点として,(i)胃の中では 鏡面反射が起こり胃の変形が必ずしも光の強度分布に反映され



(a) Real image (b) S(i, j) map Fig. 14 Image of human stomach

ない.(ii)内視鏡から空気や水を噴射した場合に内視鏡自体が 振れてしまい,正しい変形を測定できないということが想定さ れる.(i)については,今後はアクティブにパターンを投光す るなどの対策が必要となってくる.また,(ii)については,こ れまでの実験ではそれほど大きな問題となっていないが,今後 精度の高い測定を行うためには,内視鏡自体の剛性を高くする などの対策が必要となる.今後は内視鏡の改良も視野に入れて, 最終的には医師に硬さ分布を提供できるようなシステムの開発 を行っていく予定である.

#### 5. 結 論

本論文では,広範囲の相対的な硬さ分布を測定するための概 念として非接触剛性イメージャを提案し,その有効性について 検証した.この研究の要点をまとめると以下のようなる.

- (1) 力の印加方法と変位取得方法により4通りの剛性計測方法 を示したうえで、その中の2通りの組み合わせを非接触剛 性イメージャとして利用できることを示した。
- (2) 非接触剛性イメージャの実施例を示し、実験によりその基本動作原理について検証した.

(3) 内視鏡に非接触剛性イメージャの概念を応用し,実際の胃 を対象として実験を行うとともに問題点について整理した.

謝辞 最後に、実験の遂行に関して御協力いただいた(株) 富士写真光機の竹内信次氏に感謝の意を表す.なお、本研究は 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」の一環として行われたものである.

## 参考文献

- [1] http://www.biomedpet.org/
- [2] 日本胃癌学会:胃癌取扱い規約. pp.4-6, 金原出版, 1999.
- [3] 高谷治,赤塚孝雄:"生体硬さの臨床的測定法",計測と制御, vol.14, no.3, pp.281-292, 1975.



## 川原知洋(Tomohiro Kawahara)

1979 年 8 月 13 日生.2002 年熊本電波工業高等専 門学校専攻科制御情報システム工学専攻修了.2004 年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了.同 年博士課程後期に進学,現在に至る.非接触硬さセ ンサや生体センシングなどの研究に従事.2003 年 度計測自動制御学会学術奨励賞受賞.日本学術振興 (日本ロボット学会学生会員)

会特别研究員.



## 田中信治(Shinji Tanaka)

1958年10月7日生.1984年広島大学医学部医学 科卒業.北九州総合病院,広島赤十字・原爆病院,国 立がんセンター病院等を経て,1992年より広島大 学医学部附属病院第一内科医員.1993年医学博士, , 助手125097年よりブラジル・オオグラン示型大士学

消化器科・客員教授. 1998 年より広島大学医学部附

属病院光学医療診療部助教授,消化器内視鏡学や消化管癌(食道癌・胃 癌・大腸癌)の内視鏡診断と治療に従事.2000年度日本消化器内視鏡学 会賞,2003年度日本コンピュータ外科学会最優秀講演論文賞等を受賞.

- [4] 藤野雅之, 多田正大:早期胃癌内視鏡ハンドブック. 中外医学社, 1995.
- [5] 多田正大,丸山雅一,藤野雅之:胃と腸ハンドブック. pp.173-185, 医学書院, 2000.
- [6] 川原知洋,徳田寛一,金子真:"空気噴流を用いた内視鏡用仮想触覚 プローブ",第3回計測自動制御学会システムインテグレーション部 門講演会講演論文集,pp.109-110,2003.
- [7] M. Kaneko, T. Kawahara, S. Matsunaga, T. Tsuji and S. Tanaka: "Touching stomach by air," Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.664–669, 2003.
- [8] 川原知洋,徳田寛一,金子真:"軸心共有型非接触インピーダンスセンサ",計測自動制御学会論文集,vol.40, no.5, pp.487-492, 2004.
- [9] 金子真,松永佐斗志,石井抱:"インピーダンスイメージャ",第21 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 1H23, 2003.



## 松永佐斗志(Satoshi Matsunaga)

1979 年 8 月 17 日生.2002 年広島大学工学部第二 類(電気系)卒業.2004 年広島大学大学院工学研 究科博士課程前期修了.同年 NTT コムウェア株式 会社に入社,現在に至る.在学中,非接触硬さセン サや生体センシングなどの研究に従事.

## 金子 真 (Makoto Kaneko)



1954年1月18日生、1981年東京大学工学系研 究科博士課程修了、工学博士、通産省工業技術院 機械技術研究所,九州工業大学助教授を経て1994 年より広島大学大学院工学研究科教授,アクティブ センシングや把握戦略の研究に興味を持つ、日本ロ ボット学会論文賞(1994),計測自動制御学会論文賞

(1996, 2002), Humboldt Research Award (1997), IEEE ICRA
The Best Manipulation Paper Award (2000), IEEE ISATP The
Outstanding Paper Award (2001), 日本コンピュータ外科学会最
優秀講演論文賞 (2004), IEEE RAS King-Sun Fu Memorial Best
Transaction Paper Award (2004) 等を受賞, IEEE Fellow, 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」プ
ロジェクトリーダー, (日本ロボット学会正会員)