

20082/003A

厚生労働科学研究費補助金

長寿科学総合研究事業

低侵襲かつ簡便な摂食・嚥下機能評価システムの  
構築に関する研究

平成20年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 金高 弘恭

平成21（2009）年 4月

# 目 次

I. 総括研究報告		
低侵襲かつ簡便な摂食・嚥下機能評価システムの構築に関する研究	-----	1
金高弘恭		
II. 分担研究報告		
1. 高齢者の口腔機能の把握に関する研究	-----	10
小坂 健		
2. 高齢者の摂食・嚥下機能評価法に関する研究	-----	13
五十嵐 薫		
3. 薄膜平面コイルを用いた生体用LC共振型 ワイヤレス磁気マーカの開発に関する研究	-----	16
藪上 信		
4. 積層アモルファスを用いた生体用LC共振型 ワイヤレス磁気マーカの開発に関する研究	-----	20
栢 修一郎		
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	25
IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----	26

低侵襲かつ簡便な摂食・嚥下機能評価システムの構築に関する研究

研究代表者 金高 弘恭 東北大学大学院医工学研究科・准教授

【研究要旨】

本研究では、口腔や咽頭など遮蔽された空間内での位置検出が可能な磁気式システムの特徴を生かし、摂食・嚥下機能の評価・治療に従来より用いられてきたVFやVEに代わりうる、①低侵襲で簡便、②高精度、かつ③低コストでの利用が可能な新しい摂食・嚥下機能評価システムを構築し、高齢者福祉および医療へ貢献していくことを目的とする。今回はその目的実現のため、複数個のLC共振型磁気マーカーを用いた多点位置検出システムを開発し、その検出精度について検証を行った。

【研究分担者氏名・所属機関名及び所属機関における職名】

小坂 健	東北大学大学院歯学研究科・教授
五十嵐 薫	東北大学大学院歯学研究科・教授
藪上 信	東北学院大学工学部・准教授
柘 修一郎	東北大学電気通信研究所・助教

A. 研究目的

これまでに基礎的な検討を行ってきた、単数のLC共振型磁気マーカーを用いた位置検出システムを拡張して、複数個のLCマーカーに対応できる手法を確立し、実際にそのシステムを構築して性能評価を行うと共に、検出位置の高精度化を図ることを目的とした。また検出コイル径を小さくすることで位置精度の向上が見込まれるという数値解析結果を基に、実際に直径を小さくした検出コイルを製作し検討を行った。さらに数値解析により、検出コイルの配置について精度向上のための検討を行った。

B. 研究方法（複数個マーカーの性能評価）

B-1) システムの構成

構築したシステムの模式図を図1に示す。一辺390mmの正方形型アクリル製巻き枠に巻かれた励磁コイル（線径0.26mm×10回巻き）と、直径25mmのアクリル製ポピンに巻かれた25個の検出コイル（線径0.1mm×40回巻き）が45mm間隔で5×5のマトリクス状に配置されている検出コイルアレイを200mmの間隔且つ励磁コイルおよび検出コイルアレイ中心に配置した検出コイルの中心軸が一致するように対置している。また、各検出コイルはスイッチモジュールを介して誘起された電圧波形を計測するためのデジ

タイザに接続されている。これに加えて、励磁波を生成するための任意波形発生装置およびパワーアンプと、システム全体を制御しLCマーカーの位置を算出するためのパソコンから成る。今回使用したデジタイザは2系統の入力端子を有しているため、スイッチモジュールを2台用いて、それぞれに1

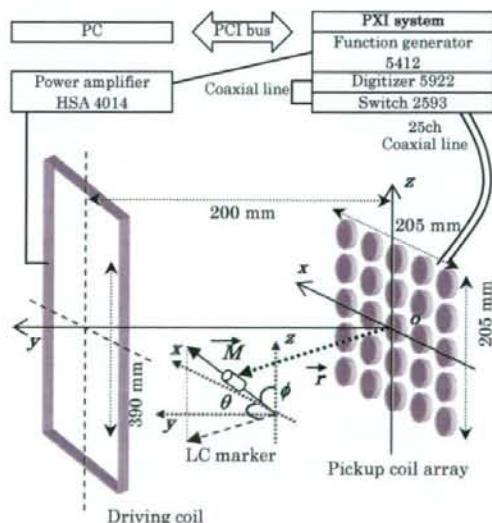


図1 システムの概略図

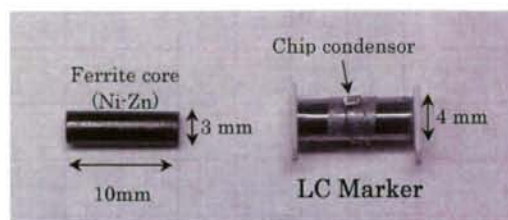


図2 LC共振型磁気マーカー

表1 LCマーカーの仕様

	Mk1	Mk2	Mk3	Mk4	Mk5	Mk6
Resonant frequency (kHz)	108	183	201	273	323	441
$f_1$ (kHz)	107	182	200	271	321	438
$f_2$ (kHz)	109	185	203	276	326	445
Diameter of core (mm)	3	3	3	3	3	3
Coil turns	500	350	300	270	220	120
Condenser (pF)	910	910	680	680	470	910
Inductance ( $\mu$ H)	2400	1135	917	720	515	143
Quality factor	69	61	78	62	68	75

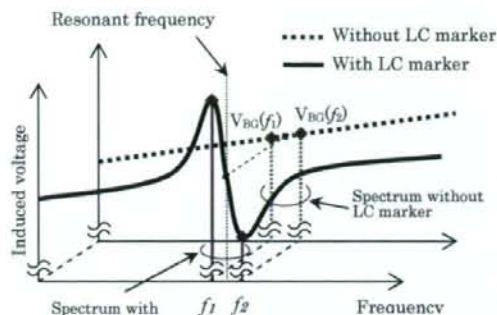
3個の検出コイルを割り当て、同時に2個ずつの検出コイルの電圧測定を行うことが可能である。

外部磁界による駆動が可能なLC共振型磁気マーカーの一つを図2に示す。直径3mm、長さ10mmのフェライト磁心(TDK製L6、Ni-Znフェライト、 $\mu_i = 1,500$ 、 $B_s = 0.28T$ )に施した120~500回の巻線の両端にチップコンデンサが接続されている。これよりマーカー自身がLC共振回路を構成している。また今回作製したLCマーカー6個の仕様を表1に示す。各マーカーはコイル巻数とコンデンサ容量によって共振周波数を変化させているが、サイズは全て図2に示すように、直径4mm、長さ10mm、重さは0.5~0.8g程度である。またLCマーカーは、図1に示すような座標系を設定し、非磁性、非金属の台座によって検出空間内に配置した。

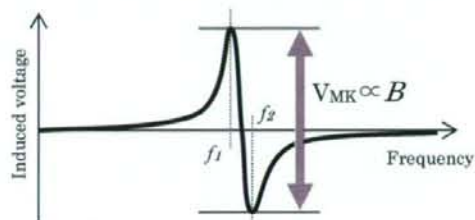
## B-2) 誘起電圧計測方法

検出空間内に配置されたLCマーカーの位置と方向を求めるには、LCマーカーから発生される誘導磁界を検出コイルによって測定する必要がある。しかし、LCマーカーを駆動するための励磁磁界とLCマーカーの発する誘導磁界は同じ周波数成分を持つため、直接測定することは困難であるが、以下の手順を経ることで間接的に測定することが可能である。

検出コイルに誘起される電圧について、検出空間内のLCマーカーの有無に対するLCマーカー共振周波数付近の周波数特性を図3(a)に示す。ここで、LCマーカー挿入前に検出コイルに誘起された電圧をバックグラウンド電圧: $V_{BG}$ と定義する。



(a) Influence on the induced voltage of the LC marker, and amplitude spectrum after FFT



(b) Marker contribution voltage

図3 バックグラウンド電圧とマーカー寄与電圧

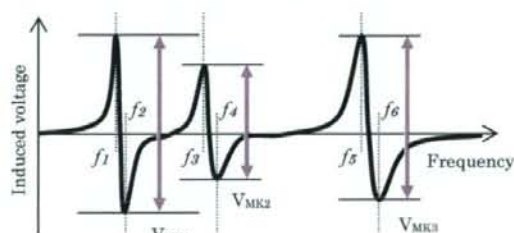


図4 マーカー3個の場合のマーカー寄与電圧

また両者の差分をとった結果を図3(b)に示す。これらが共振周波数の前後に極値を持つのは、励磁磁界に対して誘導磁界の位相が大きくずれるためである。このピーク-ピーク電圧がLCマーカーの発する磁界強度に比例することから、本論文ではマーカー寄与電圧 $V_{MK}$ と定義し、検出コイル毎の $V_{MK}$ を用いて、B-3)で述べる算出原理に基づいて位置および方向を求めている。図4は、3個のLCマーカーの $V_{MK}$ を測定する場合の周波数特性の概略図である。3個の場合、各LCマーカーの共振周波数前後の $f_1 \sim f_6$ についての電圧を計測し $V_{MK}$ を得る必要がある。そこで、必要な複数の周波数成分を重畳させた重畳波(PC上で作成)でマーカーの励磁を行い、高速サンプリングが可能なデジタルで誘起電圧波形を測定し、PC上でFFT解析を行うことで各周波数成分のスペク

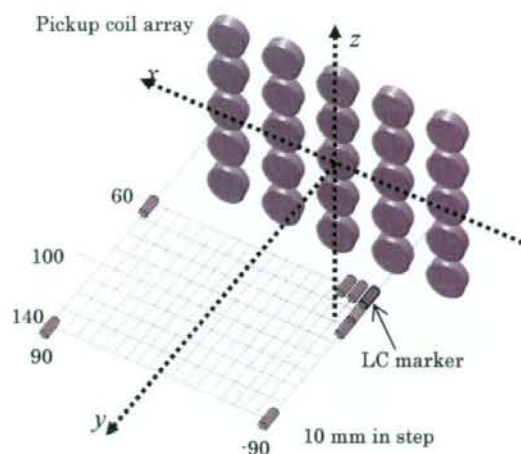


図5 LCマーカと検出コイルの配置図

トル強度として電圧振幅を得る手法を用いた。これにより LC マーカの数に依存せず同時に複数の周波数成分の電圧測定が可能となる。図3(a)にその概念図を示す。本論文のシステムでは、使用周波数帯域幅を考慮し、サンプリング周波数を 5MHz とした。これに対し FFT 解析の周波数分解能が 1kHz になるように、サンプリング数を 5,000 個とした。

### B-3) 位置算出原理

本研究では LC マーカから発生する誘導磁界をダイポール磁界に近似できると仮定して、式(1)~(3)からマーカの位置および方向を算出し、Gauss-Newton 法により最適化を行った。

$$S(\vec{p}) = \sum_{i=1}^n |\vec{B}^{(i)}_{meas} - \vec{B}^{(i)}_{cal}(\vec{p})|^2 \rightarrow \text{Minimum} \quad (1)$$

$$\vec{B}^{(i)}_{cal}(\vec{p}) = \frac{1}{4\pi} \left[ -\frac{\vec{M}}{r_i^3} + \frac{3(\vec{M} \cdot \vec{r}_i) \cdot \vec{r}_i}{r_i^5} \right] \quad (2)$$

$$\vec{p} = (x, y, z, \theta, \phi, M) \quad (3)$$

ここで  $S(\vec{p})$  は評価関数、 $n$  は検出コイルの数、 $i$  は検出コイルの番号 (1~25)、 $\vec{B}^{(i)}_{meas}$  は検出コイル  $i$  における磁束密度の測定値、 $\vec{B}^{(i)}_{cal}$  はダイポール磁界を考慮した検出コイル  $i$  における磁束密度の理論値、 $\vec{r}_i$  は検出コイル  $i$  の中心からマーカまでの位置ベクトル、 $\vec{M}$  はマーカの磁気モーメント、 $\theta$  は  $xy$  平面に射影したモーメントの方向ベクトルと  $x$  軸とのなす角、 $\phi$  はモーメントの方向ベクトルと  $z$  軸のなす角(図1参照)、 $\vec{p}$  はマーカのパラメータにより構成されるベクトル量である。

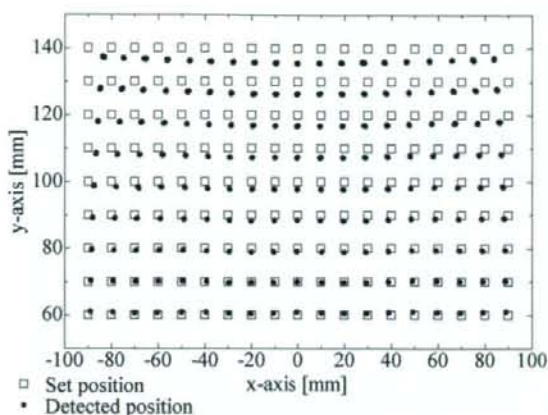


図6 検出された位置 (x-y平面)

## C. 研究結果および考察

### C-1) 絶対位置精度試験

1 個の LC マーカを図5に示すような  $xy$  平面に配置し、位置検出性能評価を行った。LC マーカの設置には設置位置精度 0.1mm 以内で配置可能な3次元配置ステージを用いた。LC マーカを3次元配置ステージの稼動範囲である、 $-90 \leq x \leq 90$ 、 $60 \leq y \leq 140$ 、 $z=0$  の領域を  $x$ 、 $y$  方向とも 10mm 間隔で、LC マーカのコイル断面が検出コイルおよび励磁コイルの断面に平行になるように配置して移動させた。

位置検出の結果を図6に示す。検出された LC マーカの位置は実際に配置された位置から、特に検出コイルアレイの中心から離れるにしたがって検出コイルアレイ中心方向へ、検出コイルアレイから離れるにしたがって手前へずれていることが分かる。この原因について以後に考察を行った。

### C-2) 数値解析による検討

LC マーカの配置と検出位置の関係に対する詳細な検討を行うために、数値解析による検証を行い、検出される LC マーカの位置に対する挙動を調べた。数値解析の流れは、バックグラウンド磁界から LC マーカが発生する誘導磁界および各検出コイルに発生する磁界を数値計算によって求め、本システムで用いている位置算出ルーチンを使って LC マーカの位置を算出するというものである。そのフローチャートを図7に示す。まず、LC マーカを鎖交するバックグラウンド磁界を求め、それより LC マーカのコイルに誘起される電圧を得て、LC マーカ内のコイルを流れる電流を求める。LC マーカが発生する磁界は LC マーカをソレノイドコイルと仮定して求めた。ただし、位置の算出においては B. 研究方法で述べたとおり、ダイポール磁界として近似した。次に各検出コイルに誘起される電圧を算出する。ここで、各検出コイルを鎖交する磁束

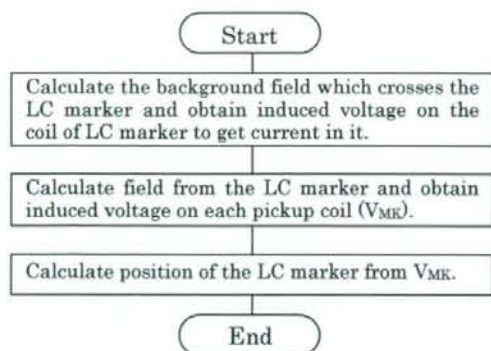


図7 数値解析実験のフローチャート

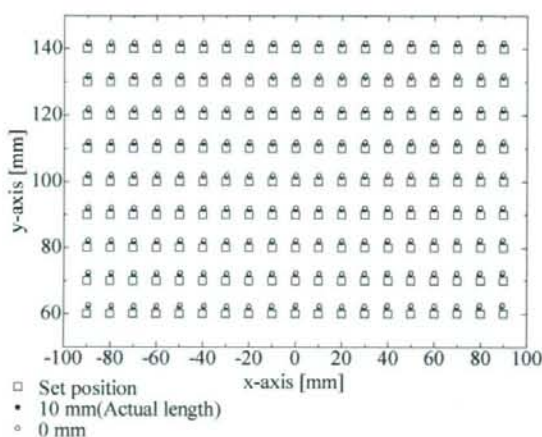


図8 LC マーカの長さによる検出位置の比較。

について検出コイルの断面積および巻き厚を考慮し、検出コイルが占める体積内の磁界強度の平均値を鎖交磁束とした。そして最後に本システムで用いている位置算出ルーチンを用い、LC マーカの位置を算出する。

この数値解析により、LC マーカの長さについて、検出コイルの直径、個々の検出コイルのインピーダンス特性差、LC マーカ挿入による励磁コイルのインピーダンス変動、の4点について、実際の位置検出性能評価でLC マーカを配置した位置と同じ場所について検討した。

(1) LC マーカの長さの影響

LC マーカの長さについて、実際の長さである10mmと長さ無し(0mm)の2種類を仮定して位置算出を行った。それぞれの位置算出結果を比較したものを図8に示す。図よりLC マーカの長さは検出位置のずれに対する影響は非常に少ないと言える。

(2) 検出コイルの直径の影響

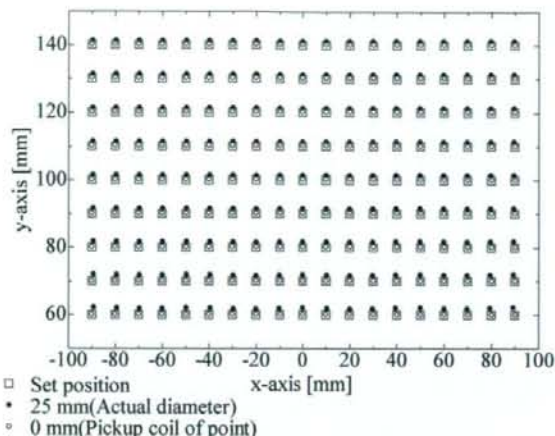


図9 検出コイルの直径による検出位置の比較

表2 各検出コイルのインピーダンス特性

	Z [Ω]	Deviation [%]		Z [Ω]	Deviation [%]
ch1	111.50	0.04	ch14	110.95	0.53
ch2	110.91	0.56	ch15	110.96	0.52
ch3	111.62	-0.07	ch16	110.51	0.92
ch4	111.44	0.09	ch17	111.09	0.41
ch5	111.95	-0.37	ch18	111.04	0.45
ch6	112.23	-0.62	ch19	111.22	0.29
ch7	111.43	0.10	ch20	112.37	-0.74
ch8	112.01	-0.42	ch21	112.61	-0.96
ch9	112.73	-1.07	ch22	110.94	0.54
ch10	111.10	0.40	ch23	112.24	-0.63
ch11	111.48	0.06	ch24	111.38	0.14
ch12	111.64	-0.09	ch25	111.27	0.25
ch13	111.90	-0.32			

検出コイルの直径について本システムでいた実際のサイズ(25mm)と点(0mm)の場合とで検討を行った。比較結果を図9に示す。図より、検出コイルが点の場合はLC マーカを設置した位置に検出できているが、直径が25mmのときは全体的に検出位置がy座標については1~2mmほど大きく検出されていることが分かる。この算出結果は図6の結果とは大きく異なっているが、検出コイルの直径が大きい場合には検出位置のy座標は実際の座標よりも大きく検出されることが予測できる。

(3) 検出コイルのインピーダンス特性差についての検討

本システムで使用した検出コイルのインピーダンスとその平均値からの偏差を表2に示す。表から本システムで使用している検出コイルのインピーダンスのばらつきは1~2%程度であることが分かる。なお、本システムで用いたデ

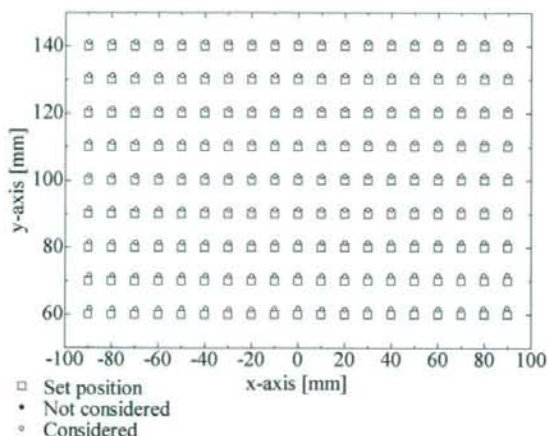


図 10 検出コイルのインピーダンス特性の差を考慮した場合の検出位置の比較

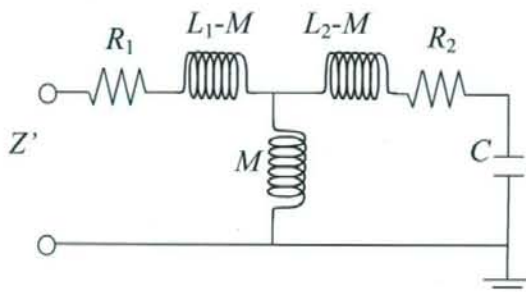


図 11 励磁コイルと LC マーカの電磁結合の等価回路図

ジタイザの入力インピーダンスは  $1M\Omega$  である。表 2 から  $V_{MK}$  に対して検出コイルのインピーダンスによる分圧を考慮し、検討を行った。結果を図 10 に示す。図から検出コイルのインピーダンスの特性差を考慮した場合としない場合では全く検出位置に変化が無いことがわかる。

#### (4) LC マーカ挿入前後での励磁コイルのインピーダンスの変動に関する検討

励磁波形はパワーアンプにより定電圧で入力しているため、LC マーカ挿入時には励磁コイル—LC マーカ間に発生する相互インダクタンスによって励磁コイルのインピーダンスが変化し、励磁界が変化してしまうため必然とバックグラウンド電圧が変動することが考えられる。そこで、この相互インダクタンスを求め、励磁コイルのインピーダンスの変化を考慮した場合の検討を行った。相互インダクタンスは Biot-Savart の法則により励磁コイルが LC マーカ内に作り出す磁界を求めることによって求めた。そして、励磁コイル—LC マーカ間の電磁結合を図 11 の等価回路のように考慮し、励磁コイルの入力インピーダンスの変化量： $\Delta Z$  を求め

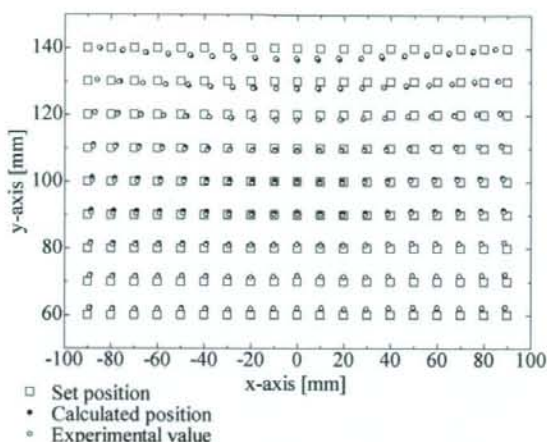


図 12 バックグラウンド電圧の変動を考慮した場合と実測値の比較

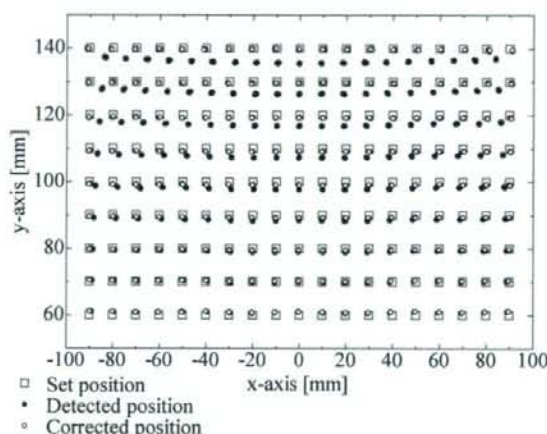


図 13 実際に検出された位置とバックグラウンド電圧の変動を考慮して修正された位置

た。LC マーカ挿入前の励磁コイルのインピーダンス： $Z$  と挿入後のインピーダンス： $Z'$  は次のように求まる。

$$Z = R_1 + j\omega L_1 \quad (4)$$

$$Z' = R_1 + j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + j\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad (5)$$

ここで、 $R_1$ 、 $L_1$  は励磁コイルの直流抵抗成分および自己インダクタンス成分、 $R_2$ 、 $L_2$ 、 $C$  は LC マーカの直流抵抗成分、自己インダクタンス成分およびキャパシタンス、 $M$  は励磁コイル—LC マーカ間に生じる相互インダクタンスである。ここで、LC マーカ挿入前後のバックグラウンド電圧： $V_{BG}$ 、 $V'_{BG}$

はそれぞれ励磁コイルのインピーダンスに反比例するため、

$$V_{BG} \propto \frac{1}{|Z|}, \quad V'_{BG} \propto \frac{1}{|Z'|} \quad (6)$$

が成り立つ。すると、次の式が成り立つ。

$$\frac{V'_{BG}}{V_{BG}} = \frac{|Z|}{|Z'|} \quad (7)$$

これより、バックグラウンド電圧の変化量： $\Delta V_{BG}$ は

$$\Delta V_{BG} = V'_{BG} - V_{BG} = \frac{\Delta Z}{|Z|} V_{BG} \quad (\Delta Z = |Z| - |Z'|) \quad (8)$$

と求まる。式(8)を用いてバックグラウンド電圧の変化量を求め、その影響を考慮して $V_{MK}$ を変化させ、位置算出を行った。実際の位置検出の結果と比較したものを図12に示す。図から、LC マーカ挿入によるバックグラウンド電圧の変化を考慮した場合、図6で発生した検出位置のずれと酷似した結果を得ることができた。よってずれの原因はLC マーカ挿入による励磁コイルのインピーダンスの変動によるバックグラウンド電圧の変動であると考えられる。

### C-3) 検出位置の補正

検出位置のずれの原因がLC マーカ挿入による励磁コイルのインピーダンスの変化であるとの数値解析の結果より、図6で得られた結果に対しこれを考慮した補正を行った。補正の方法は、実験で得られた $V_{MK}$ に対し、それから求められたLC マーカの位置情報から励磁コイルとの間に発生した相互インダクタンスを求め、そこから得られるバックグラウンド電圧の減少量を $V_{MK}$ に加えてLC マーカの位置を再計算するというものである。元の結果と補正後の結果の比較を図13に示す。図から実際の位置検出性能評価を行った領域においては補正後のLC マーカの検出位置は、設置した位置から2mm以内で検出できていることが分かる（検出コイルから100mmまでの範囲においては、1mm以下）。

### C-4) 6個のLC マーカ同時検出に対する検出位置補正の適用

6個のLC マーカに対する検出位置補正を試みた。それぞれのLC マーカの配置を図14に示す。6個のLC マーカをx 軸方向へ一直線に20mm 間隔で配置し、検出コイルから60~140mm の範囲を10mm 間隔で移動させた。検出結果と補正後の位置を図15に示す。補正後は設置位置から2mm の位置に検出できていることが分かる（検出コイルから100mm までの範囲においては、1mm 以下）。これより、LC マーカが複数個ある場合でもこの補正方法は有効であることが実証された。

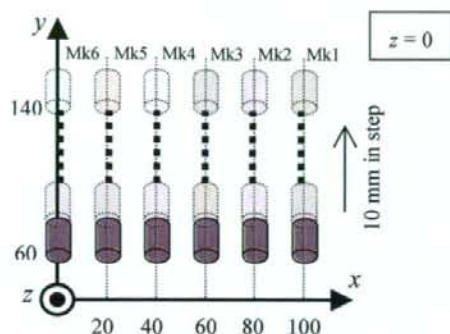


図14 6個のLC マーカの配置図

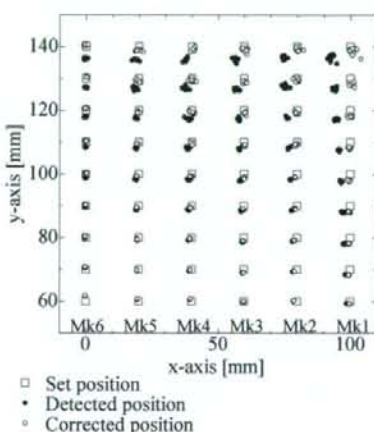


図15 複数LC マーカの検出結果と補正後の位置

### D. 検出コイルのサイズを変えた位置検出

これまで使用していた検出コイルの直径は25 mm であった。今回新たに直径10 mm の検出コイルを製作し位置検出を行い、これまでの結果と比較した。 $-80 \leq x \leq 80, 60 \leq y \leq 140, z=0$  (単位はmm) のx-y 平面内で、LC マーカを配置システムによりx, y 軸方向とも20 mm 間隔で移動させ、LC マーカを静止させた各点100 回連続測定を行った。なお、LC マーカの姿勢角は $\theta = \phi = 90^\circ$  とした。

図16より、検出コイルを直径10 mm にしても問題なく検出できることがわかる。検出位置のばらつき量は、設置位置との距離の標準偏差で表し、直径25 mm のとき0.6 mm 以内、直径10 mm のとき0.7 mm 以内であった。図17より、 $y=60$  では、検出位置がy 軸方向で1 mm 弱設置位置に近づいていることがわかる。これは、前述の数値解析で予想されていた通りの結果となったが、 $y=100, 140$  では同様の結果は得られなかった。



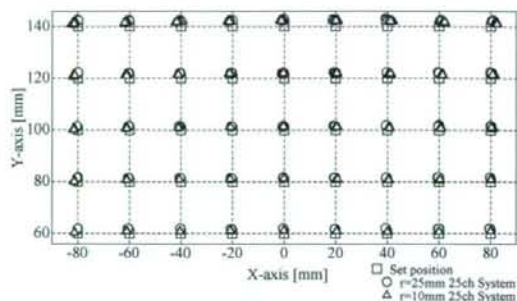


図 16 10 mm 径および 25 mm 径検出コイルでの検出

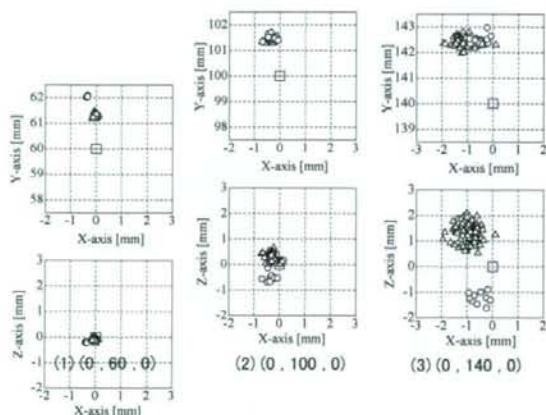


図 17 検出位置の拡大図 ( $x = 0$  の 3 点)

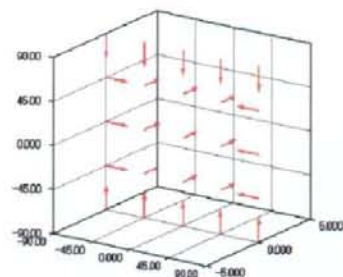
## E. 数値解析による高精度化の検討

さらなる高精度化のために、検出コイルの配置角度について数値解析を用いた検討を行った。ここでは、マークは大きさを持たないダイポール磁界と仮定し、センサはコイル円内に一様に分布した点のセンサの集合とし、センサに得られる信号は、それらの平均値を用いた。

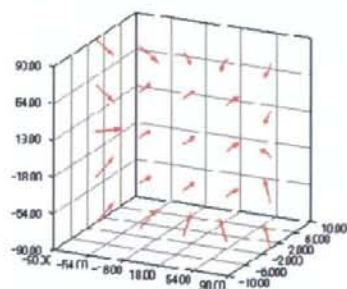
このような条件の下、 $-80 \leq x \leq 80$ ,  $60 \leq y \leq 140$ ,  $z = 0$  の  $x$ - $y$  平面内で、 $x$ ,  $y$  軸方向とも 20 mm 間隔でマークを移動させ、姿勢角  $\phi = 90^\circ$ 、 $\theta$  を  $0^\circ \sim 90^\circ$  の間で  $30^\circ$  刻みで変化させて仮想的に位置検出を行った。なお、検出コイルの向きは、図 18 の(a), (b), (c)に示す 3 通りに変化させ、検出コイルの直径を 10 mm と 25 mm の 2 通りについて検討した。その結果、姿勢角  $\theta$  の変化に対する算出位置のばらつきが最小となったのは、直径 25 mm では (c)パターンであり、直径 10 mm では (b)・(c)パターンがほぼ同じであった。すなわち、今回の検討では、検出コイルを傾けることで得られる効果は薄いということが判った。

## F. 結論

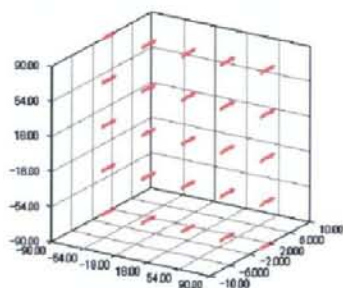
複数個の LC マーカに対応した位置検出システムについて位置検出の性能評価を行った結果、励磁コイルのインピーダ



(a) 外縁の 16 個を内側に  $90^\circ$  傾けた場合



(b) 外縁の 16 個を内側に  $45^\circ$  傾けた場合



(c) 実験 1・2 と同じ状態

図 18 シミュレーションによる位置検出評価を行った検出コイルの配置パターン (図中の矢印は検出コイルの法線ベクトルを示す)

ンス変動によって検出位置がずれることを指摘し、その補正方法を示した。その結果、検出コイルから 100 mm の範囲において 1 mm 以下の位置精度で検出可能であることが明らかとなった (検出コイルから 60 mm ~ 140 mm までの範囲においては、2 mm 以下)。

検出コイル小径化による検出位置精度の向上を目指して、新たに 10 mm 径の検出コイルを試作し、従来の 25 mm 径の検出コイルに対する位置検出性能の比較を行った。10 mm 径の検出コイルを用いたシステムにおいて、評価範囲は  $-80 \leq x \leq 80$ ,  $60 \leq y \leq 140$ ,  $z = 0$  の  $x$ - $y$  平面上を  $x$ ,  $y$  軸方向とも 20 mm 間隔とし、LC マーカの円柱軸が励磁コイルおよび検出コイルアレイに対して垂直の場合 ( $\theta = \phi = 90^\circ$ ) のみの検討を

行った。その結果、 $y = 60$ において、検出位置とLCマーカ  
字の設置位置との距離を平均0.80 mm小さく、合計1.17 mm  
まで小さくできたが、 $y = 100, 140$ では効果が確認できな  
かった。また、検出位置のばらつきは、10 mm 径、25 mm 径の  
検出コイルとも最大 $\pm 0.7$  mm 程度と同等であった。

さらに、マーカをダイポール磁界と仮定した、数値解析を  
行い、検出位置のズレに対する検出コイルの直径の影響につ  
いて検討した結果、検出コイルの直径をさらに小さくすれば、  
実際に測定される誘導磁界と理論値の差が小さくなり、検出  
位置の誤差を抑えられる見通しが得られた。

## G. 健康危険情報

該当事項なし

## H. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) Hashi S, Ohya M, Uchiyama M, Yabukami S, Kanetaka H, Ishiyama K, Okazaki Y, Arai IK, Study on downsizing of LC markers for a wireless magnetic motion capture system. Sensor Letters, 2009.(in press)
  - 2) Hashi S, Yabukami S, Kanetaka H, K. Ishiyama K, Arai IK: Numerical Study on the Improvement of Detection Accuracy for a Wireless Motion Capture System. IEEE Transactions on Magnetics, 2009.(in press)
  - 3) 野口有紀, 相田潤, 丹田奈緒子, 伊藤恵美, 金高弘恭, 小関健由, 小坂 健  
介護予防「口腔機能向上」プログラム対象者 選定項目と  
歯科医療ニーズとの関連  
-要介護者を対象とした分析-  
日本口腔衛生学会雑誌, 2009(印刷中)
- ### 2. 学会発表
- 1) 金高弘恭, 幸地省子, 新井映子, 中條 哲  
摂食機能評価のための新しい検査用ゼリーの開発と臨床  
応用の試み  
第32回日本口蓋裂学会総会学術集会,  
2008年5月28-29日, 広島
  - 2) 幸地省子, 金高弘恭, 尾崎史浩  
チューインガム法による口唇裂・口蓋裂患者における咀嚼  
能力の経年変化に関する研究  
第32回日本口蓋裂学会総会学術集会,  
2008年5月28-29日, 広島
  - 3) 狩野充浩, 清水良央, 金高弘恭, 工藤忠明,  
菊地正嘉  
ヒト喉頭蓋における喉頭腺の加齢変化  
第19回日本老年歯科医学会学術大会, 13日  
2008年6月19日-6月20日, 岡山
  - 4) Hashi S, Ohya M, Uchiyama M, Yabukami S, Kanetaka H, Ishiyama K, Okazaki Y, Arai IK, Study on downsizing of LC markers for a wireless magnetic motion capture system. European Magnetic Sensors & Actuators Conference (EMSA 2008), 2008.6.30-7.02, Caen, France
  - 5) 藪上 信, 栢修一郎, 金高弘恭, 荒井賢一  
ワイヤレス磁気マーカの位置検出システムにおける位置  
精度向の検討  
電気学会マグネティクス研究会,  
2008年7月31日-8月1日, 富山
  - 6) 栢修一郎, 神坂文康, 藪上 信, 金高弘恭, 石山和志,  
荒井賢一  
励磁コイル及び検出コイルアレイ一体型位置検出システ  
ムの検討  
第32回日本磁気学会学術講演会,  
2008年9月12日-15日, 多賀城
  - 7) 藪上 信, 栢修一郎, 金高弘恭, 荒井賢一  
ワイヤレス磁気マーカによる位置検出精度向上の検討  
第32回日本磁気学会学術講演会,  
2008年9月12日-15日, 多賀城
  - 8) Hashi S, Yabukami S, Kanetaka H, Ishiyama K, Arai IK,  
Numerical Study on Improvement of Detection Accuracy for  
Wireless Magnetic Motion Capture System.  
Asian Magnetics Conference 2008  
(AMC 2008) 2008.12.10-13, Pusan, Korea
  - 9) Kanetaka H, Yabukami S, Hashi S, Arai IK,  
Wireless magnetic motion capture system for medical use.  
The 3rd International Symposium for Interface Oral Health  
Science, 2009. 1.15-16, Sendai, Japan
  - 10) 神坂文康, 栢修一郎, 金高弘恭, 石山和志, 藪上信,  
荒井賢一  
位置検出システム用アモルフラスリボン積層薄型磁気マ  
ーカに関する検討  
平成21年電気学会全国大会,  
2009年3月17-19日, 札幌

## I. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

名称：INSTRUMENT AND METHOD FOR MEASURING  
THREE-DIMENSIONAL MOTION

登録番号：米国特許第 7402996 号

登録日：July, 22, 2008

発明者：Hiroyasu Kanetaka(33.3%), Ken-ichi Arai(33.3%),  
Shin Yabukami(33.3%)

特許出願人：Japan Science and Technology Agency(100%)

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

高齢者の口腔機能の把握に関する研究

研究分担者 小坂 健 東北大学大学院歯学研究科・教授

【研究要旨】

通所介護サービス利用者を対象として、口腔機能向上プログラムで用いられている選定項目で歯科医療ニーズの把握が出来るか確認した。現行の選定項目で、歯科医療ニーズをすべて把握することは困難であった。介護予防口腔機能向上事業を行う際、歯科医療ニーズの把握方法の開発や歯科医療との連携の必要性が示唆された。

A. 研究目的

市町村の実施する地域支援事業では、基本チェックリスト25項目等により虚弱高齢者を把握する。口腔機能向上の介護予防プログラム対象者（特定高齢者）は、基本チェックリストの3項目、

①半年前に比べて固いものが食べにくくなりましたか

②お茶や汁物等でむせることはありますか

③口の渇きが気になりますか

の質問に加えて

④口腔状態の視診

⑤反復唾液嚥下テスト

口腔機能向上プログラム対象者の選定は、上記の基本チェックリスト等を用いて実施されている。そこで、口腔機能向上プログラム対象者になりうる高齢者のうち、より多くの問題を抱えている可能性のある要介護高齢者を本調査の対象者とし、口腔機能向上プログラムで用いられている選定項目で歯科医療ニーズの把握が出来るかを明らかにすることを本研究の目的とした。

B. 研究方法

宮城県仙台市内の4ヶ所の通所サービス実施施設において通所サービス（介護予防通所介護、予防通所リハビリテーション含む）を利用する者97名（男性39名、女性58名）を対象とした。調査

対象者は、調査時点において要介護者で、通所サービスを受けている者であった。対象者97名のうち、全項目への有効回答が得られた者は88名（男性36名、女性52名）で、有効回答者の平均年齢は、77.5±8.2歳で、うち男性77.4±9.5歳、女性77.9±7.5歳であった。

質問票を用いたインタビュー調査と歯科医師による診査を実施した。

1) 質問票を用いたインタビュー調査

質問票を用い、性別、年齢、基本チェックリスト25項目をインタビュー形式の調査で聞き取りを行った。

2) 歯科医師による診査

書き込み式の口腔内診査票を用い、キャリブレーションを行った歯科医師が口腔内診査を実施した。口腔内診査の内容は、現在歯数、未処置のう蝕の有無、歯肉の所見（CPIコード）、および義歯の補綴や義歯の調整の必要性の有無とした。視診により口腔内の衛生状態の問題について食物残渣状況や舌苔の有無といった観点からの確認を行うとともに、反復唾液嚥下テスト（RSST）を実施した。

## C. 研究結果

### 1. 歯科医療ニーズ

表1に、対象者の歯科医療ニーズを示す。歯科医療ニーズを有する者は全体で78.4% (69名)であった。内訳は、CPIコード2以上の者が67.0% (59名)、未処置のう蝕を有する者は25.0% (22名)、義歯の補綴や義歯の調整の必要性を有する者は17.0% (15名)であった。

### 2. 口腔機能向上プログラム対象者の選定項目

基本チェックリスト口腔関連3項目の該当者は、「半年前に比べて固いものが食べにくくなりましたか」が31.8% (28名)、「お茶や汁物等でむせることがありますか」が27.3% (24名)、「口の渇きが気になりますか」が43.2% (38名)であった。基本チェックリスト口腔機能向上関連3項目では、1項目のみに該当した者は34.1% (30名)、2項目に該当した者は23.9% (21名)、3項目すべてに該当した者は6.8% (6名)であった。視診による口腔内の衛生状態の問題では、食物残渣を有する者は28.4% (25名)であった。舌苔を有する者は87.5% (77名)であった。反復唾液嚥下テスト (RSST) は、2回以下の者が42.0% (37名)であった。

### 3. 口腔機能向上プログラム対象者の選定項目と歯科医療ニーズ

表2に、基本チェックリスト口腔機能向上関連3項目と歯科医療ニーズとのクロス集計表を示す。基本チェックリスト「半年前に比べて固いものが食べにくくなりましたか」、「口の渇きが気になりますか」では、歯科医療ニーズと有意な関連は認められなかった。「お茶や汁物等でむせることがありますか」とCPIコード2以上の有無に有意な関連が見られた ( $p=0.012$ )。また、歯科医療ニーズの有無とも有意な関連が示された ( $p=0.018$ )。表3に口腔内の衛生状態・RSSTと歯科医療ニーズとのクロス集計を示す。全項目で有意な関連が認められなかった。表4に、歯科医療ニーズの有無を目的変数、口腔機能向上プログラムの選定項目を説明変数にしたロジスティック回帰分析

の結果を示す。「お茶や汁物等でむせることがありますか」で該当した者の調整オッズは、9.9倍 (95%CI 1.2, 82.9)であり、統計学的に有意な関連がみられた。しかし、「お茶や汁物等でむせることがありますか」に該当は歯科医療ニーズを有する者のうち33.3% (23名)しか占めていなかった。その他の項目については、歯科医療ニーズとの間には有意な関連は認められなかった。また、表には示していないが、特定高齢者の選定項目への該当の有無と歯科医療ニーズの有無の間にも統計学的に有意な関係はみられなかった ( $p=0.63$ )。

## D. 考察

本研究調査対象者の要支援者や要介護者は、多くの歯科医療ニーズを抱えていた。限られた資源を有効に活用するという観点からも、歯科医療ニーズの把握や歯科受診を啓発する機会として、介護予防におけるプログラムを活用する必要がある。そのためにも、介護予防「口腔機能向上」プログラムにおいて、歯科医療従事者以外でも歯科医療ニーズを簡便に把握できる方法の開発や、介護予防のスクリーニングを歯科医療と連携して進められるような体制づくりが望まれる。

## E. 結論

現行の選定項目で、歯科医療ニーズをすべて把握することは困難であった。歯科医療ニーズを効率的に行うためには、より簡便かつ性格にニーズを把握できる方法もしくは新しい医療機器の開発が必要であると考えられた。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) 野口有紀, 相田潤, 丹田奈緒子, 伊藤恵美,  
金高弘恭, 小関健由, 小坂 健  
介護予防「口腔機能向上」プログラム対象者  
選定項目と歯科医療ニーズとの関連  
・要介護者を対象とした分析・  
日本口腔衛生学会雑誌2009年(印刷中)
- 2) 小坂 健  
口腔ケアの実際  
調剤と情報 15; 18-21, 2009.

### 2. 学会発表

なし

## G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

高齢者の摂食・嚥下機能評価法に関する研究

研究分担者 五十嵐 薫 東北大学大学院歯学研究科・教授

【研究要旨】

より効率的な「介護予防サービス」を提供すべく、口腔機能向上プログラム対象者の選定、スタッフの専門性や歯科医療との関わりなどを解決しながら、よりよい介護予防プログラムへの改善を提言するために、市町村の住民健診における特定高齢者選定の際に専門の歯科医師により口腔内診査を行い、口腔衛生状態評価、基本チェックリスト項目（自覚症状）および口腔機能に関する検査（咀嚼力測定、反復唾液嚥下テスト(RSST)、口腔乾燥度)による客観的なデータについて比較検討を行った。

A. 研究目的

我が国の介護保険制度は2000年に導入された。以来、この制度を利用する高齢者数やそのサービス量も年々増加してきており、高齢者及び虚弱高齢者を抱える家族への欠くことの出来ない社会保障制度のひとつとなってきた。しかしながら、急激なサービス量の増加に伴って様々な問題点も指摘されてきていることや、予定されていた開始5年後の見直しにあたることから介護保険法の改正が行われ、より効率的で有効な制度とするため2006年4月より施行（一部は2005年10月施行）されることとなった。

高齢者は、個人差が激しく、基礎疾患の有無や置かれている環境や状態が多様であり、虚弱高齢者の中から摂食・嚥下に関して問題があるか否かのふるいわけをこの口腔機能向上3項目・口腔状態

の視診・反復唾液嚥下テストによって実施することとなる。しかしながら、実際にこれらの項目でどのような特徴を持った高齢者が選択されるのかについての実態は明らかではない。

本研究では口腔機能評価の指標としてRSSTの他に、口唇圧測定、咀嚼力（咀嚼力判定ガム利用）評価を行い、それぞれの関連性について検討するとともに、介護予防へ応用していくことを目的とする。

B. 研究方法

仙台市A地区における一般住民健診受診者のうち、65歳以上の高齢者238名を対象に、歯科医師による歯科健診および質問紙調査、その他の口腔機能に関する検査を実施し、下記基本チェックリスト項目と口腔機能に関する検査結果の比較検討を

行った。

〈基本チェックリストの3項目〉

①半年前に比べて固いものが食べにくくなりましたか。

②お茶や汁物等でむせることはありますか。

③口の渇きが気になりますか。

〈口腔機能に関する検査〉

①咀嚼力測定

②反復唾液嚥下テスト(RSST)

③口腔乾燥度

なお、咀嚼力については、咀嚼力判定ガム試験を実施した。咀嚼力判定ガム試験は、咀嚼開始から2分の時点でのガムの色彩の変化を調べ、4段階のうちの最良を良好、3以下を不良とした。

RSSTは30秒間の嚥下回数を調べ、3回以上を良好、3回未満を不良とした。

また、口腔乾燥度については口腔水分計（ムーカス）による測定を行った。口腔水分計の測定値は、水分の少ない方から順に25%未満=1、25-26.9%=2、27-28.9%=3、29.9%=4、30%以上=5とした。

（倫理面への配慮）

倫理面への配慮としては、被検者を用いた口腔機能測定に先立ち、東北大学大学院歯学研究科研究倫理委員会に研究計画書を申請し、承認を受けて測定を行うこととした。被検者に対して、本研究の目的と方法について、十分に説明を行い同意を得た上で測定を行い、その際に同意書を作成した。

また個人情報保護のため、対象者に関するすべてのデータは一連の番号（ID番号）を付け、ID番

号のみで照合を行った。統計解析においては、個人情報情報は除外されており、ID番号と個別情報の対応表なしに研究対象者を個別に同定することは不可能である。解析結果は個人が同定される形では決して公表されず、すべて統計処理を行った後、集団の成績として公表される。

## C. 研究結果および考察

仙台市A地区における一般住民健診受診者のうち、65歳以上の高齢者238名を対象に、歯科医師による歯科健診および質問紙調査、その他の口腔機能に関する検査を実施し、基本チェックリスト項目と口腔機能に関する検査結果の比較検討を行ったところ、「①半年前に比べて固いものが食べにくくなりましたか」と咀嚼力判定ガムによる結果では、ガムによる判定と自覚症状による自己申告は一定の関係がみられた。しかしながら、「②お茶や汁物等でむせることはありますか」の質問項目と反復唾液嚥下テストについては、有意な相関はみられなかった。また、「③口の渇きが気になりますか」の質問項目と、実際にムーカスによる口腔水分量の測定結果では、明かな相関関係は認められなかった。

## D. 結論

本研究では、市町村の実施する地域支援事業での基本チェックリスト25項目中、口腔機能向上の介護予防プログラム対象者（特定高齢者）選定に使用される、基本チェックリストの3項目について、それぞれに対応する口腔機能に関する検査（咀嚼力測定、反復唾液嚥下テスト(RSST)、口腔乾燥



度)の結果との相関について検討を行ったが、その結果、咀嚼についてはある程度の相関がみられたが、むせることと反復唾液嚥下テスト、口腔乾燥と口腔水分量との関係は必ずしも相関しているとはいえなかった。そのため、スクリーニングの目的に合わせ簡便かつ精度の高い検査方法の開発が望まれた。

## E. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) Azuma S, Kohzuki M, Saeki S, Tajima M, Igarashi K, Sugawara J, Beneficial effects of orthodontic treatment on quality of life in patients with malocclusion. The Tohoku Journal of Experimental Medicine 214: 39-50, 2008.

### 2. 学会発表

- 1) Chiba M, Sato A, Tsuchiya S, Igarashi K, Hayashi H, Bone morphogenetic proteins in periodontal ligament homeostasis. The 86th General Session and Exhibition of the International Association for Dental Research (July 2-5, 2008, Toronto, Canada).
- 2) 千葉美麗, 宮川彩, 五十嵐薫, 林治秀  
「メカニカルストレスによる歯周組織のアポトーシス誘導機構と血管新生」  
第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (2008年12月12日、神戸)

## F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

薄膜平面コイルを用いた生体用LC共振型ワイヤレス磁気マーカの開発に関する研究

研究分担者 藪上 信 東北学院大学工学部・准教授

【研究要旨】

本研究では多層プリント基板を用いた薄型マーカの製作と評価、およびモーションキャプチャシステムの開発を行い、実験動物や顎運動モデルの計測への適用することにより、システム全体の有用性や信頼性について検討した。

A. 研究目的

摂食嚥下障害などの治療のために、顎運動等の測定を目標とする薄型ワイヤレス磁気マーカを製作し、顎運動の計測を目指す。

具体的には口腔内に貼付可能な直径5mm程度の薄型マーカの試作と、そのモーションキャプチャシステムを開発することを目的としている。

B. 研究方法

B-1 平面型マーカの設計と製作

平面コイルの設計にはAnsoft社の電磁界解析ソフトウェアMaxwell 2Dを使用した。

平面型マーカは多層プリント基板の作成メーカーである株式会社 キョウデンに外注して試作した。

マーカの高周波電気的特性の評価はネットワークアナライザ(Anritsu MS4630B)で測定した。

B-2 モーションキャプチャシステムの動物実験への適用

ウサギ体内に埋め込んだ平面マーカの位置をリアルタイムで計測するためのモーションキャプチャシステムの開発と実測

B-3 顎運動計測システムの開発

顎運動モデルに、試作したワイヤレス磁気マーカを添付し、その位置および方向を計測し、顎モデルの動きをリアルタイムで計測可能なシステムを開発した。

C. 研究結果および考察

C-1 平面型マーカの設計と作成

顎運動等の歯科用モーションキャプチャシステムを目指して、平面型LC共振型磁気マーカを

設計および作成した。

図1は設計したマーカ用多層コイルの設計図であり、図2は試作した平面型マーカの写真である。シミュレーションは電磁界解析ソフトMaxwell2D (Ansoft社製)を用いた。試作は株式会社キョウデンに依頼した。コイル寸法は1層あたり17ターン、全体層数は6層、全ターン数は102ターン、スパイラルコイルの線幅は90 $\mu$ m、線間隔は110 $\mu$ mであった。試作した多層スパイラルコイルはチップコンデンサと直列に接続して、LC共振型マーカとした。共振特性はネットワークアナライザ (MS4630B) を用いてS11を測定しインピーダンスへ換算して求めた。

図3は試作したマーカ用コイルのインピーダンスの周波数依存性を示したものである。5MHzで性能指数は最大値となり約12であった。ほぼ設計通りのマーカ特性が得られたと考えられる。

C-2 モーションキャプチャシステムの動物実験への適用

図4は試作した2個のマーカを実験動物（ウサギ）の後ろ足に埋め込み、その動きを計測するための実験の様子を示した写真である。検出コイルは40チャンネル、励磁コイルを1個配置した。検出コイルの間隔は30mmとし、同一平面内に格子状に配置した。計測周期は10Hzとした。マーカ1は足首近くに埋め込み、マーカ2は後ろ足の腿付近に埋め込んだ。実験動物には足に刺激をし、後ろ足が跳ねる動作を計測した。

図5は開発したモーションキャプチャシステムで2個のマーカの位置をリアルタイムで計測し、表示したものである。ウサギの後ろ足が蹴られる時には鋭いピークの波形が得られ、また足首（マーカ1）のストロークは腿付近（マーカ2）よりも大きく、おおむね合理的な結果が

得られた。このことから開発したワイヤレスマーカとモーションキャプチャシステムを用いて、生体内部の光学的に遮蔽された部分でもリアルタイムのモーションキャプチャができることを示した。

### C-3 顎運動計測システムの開発

図6は顎運動モデルにワイヤレス磁気マーカを貼付し、その動きを計測した結果を表したものである。マーカがワイヤレスであることと、低周波磁気ノイズからフリーであることからシールドが不要であり、かつ高精度な顎運動計測へ適用できると考えられる。図6(a)は正面からのマーカのプロファイルであり、図6(b)は側面からのプロファイルを示している。顎運動を約10回行った様子を計測した。測定結果より、ほぼヒステリシスのない運動が計測できており、負荷をかけていないことからおおむね合理的な結果が得られたと判断できた。

### D. 結論

多層プリント基板を用いた薄型マーカを製作し、モーションキャプチャシステムを実験動物や顎運動モデルへ応用した結果、生体内部などの光学的に遮蔽された部分でもリアルタイムのモーションキャプチャができることが確認された。

### E. 研究発表

#### 1. 論文発表

(1) S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, H. Kanetaka "Wireless magnetic motion capture system using multiple LC resonant magnetic markers with high accuracy", Sensors and Actuators A: Physical, vol. 142, No. 2, pp. 520-527 (2008).

(2) 藪上 信, 加藤和夫, 加茂芳邦, 小澤哲也, 荒井賢一 "高周波キャリア型薄膜磁界センサを用いた心磁界測定", Journal of the Magnetics Society of Japan, vol. 32, No. 4, pp. 483-486 (2008).

#### 2. 学会発表

(1) S. Yabukami, Y. Ohtomo, K. Kato, T. Ozawa, K. I. Arai, "Magnetocardiogram (MCG) measured by highly sensitive thin film sensor", Moscow International Symposium on Magnetism (Invited), 23RP-A-6 (2008).

(2) S. Yabukami, "Rough measurement of thin

film permeability by contacting probes", 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, DV-03 (2008).

(3) 藪上 信 "高感度磁気センサ、モーションキャプチャ", 寺子屋せんだい (招待講演) (2008).

(2008. 7. 24 仙台市産業振興事業団 会議室)

(4) 藪上 信, 戸 修一郎, 金高弘恭, 荒井賢一 "ワイヤレス磁気マーカの位置検出システムにおける位置精度向の検討", 電気学会マグネティクス研究会, MAG-08-89, (2008). (2008. 7. 31 富山工業高等専門学校)

(5) 藪上 信, 大友祐一, 加藤和夫, 小澤哲也, 荒井賢一 "高周波キャリア型薄膜磁界センサによる心磁界計測の試み", 電気学会マグネティクス研究会 (招待講演), MAG-08-98 (2008). (2008. 8. 4 東北大学 多元物質科学研究所)

(6) 大友祐一, 藪上 信, 加藤和夫, 小澤哲也, 荒井賢一, "アモルファスCoNbZr薄膜を用いた磁界センサによる心磁界計測", 電気関係学会東北支部連合大会, 2H26 (2008). (2008. 8. 22 日本大学工学部)

(7) 大友祐一, 藪上 信, 加藤和夫, 小澤哲也, 荒井賢一, "高周波キャリア型薄膜磁界センサによる心磁界計測", 第32回日本磁気学会学術講演会, 12aC-1 (2008). (2008. 9. 12 多賀城市文化センター)

(8) 戸 修一郎, 神坂文康, 藪上 信, 金高弘恭, 石山和志, 荒井賢一, "励磁コイル及び検出コイルアレイ一体型位置検出システムの検討", 第32回日本磁気学会学術講演会, 14p1PS-83(E) (2008). (2008. 9. 14 多賀城市文化センター)

(9) 小林伸聖, 藪上 信, 大友祐一, 白川 究, 荒井賢一, "アモルファスCoFeSiB軟磁性薄膜の高周波キャリア型磁界センサへの適用", 第32回日本磁気学会学術講演会, 14a2PS-86(E) (2008). (2008. 9. 14 多賀城市文化センター)

(10) 藪上 信, 戸 修一郎, 金高弘恭, 荒井賢一, "ワイヤレス磁気マーカによる位置検出精度向上の検討", 第32回日本磁気学会学術講演会, 15aE-2 (2008). (2008. 9. 15 多賀城市文化センター)

(11) 藪上 信, "直接通電による磁性膜透磁率測定を試み", 電気学会マグネティクス研究会, MAG-08-202 (2008) (2008. 12. 19 東北大学工学部青葉記念会館).

### F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

【図】

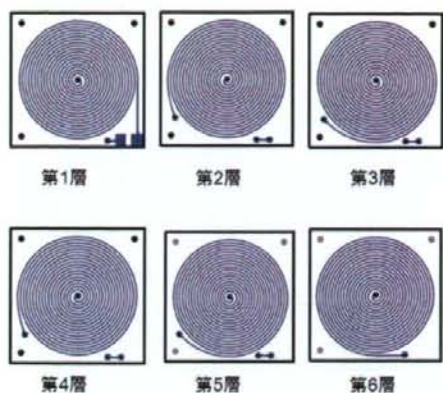


図1 多層スパイラルコイル

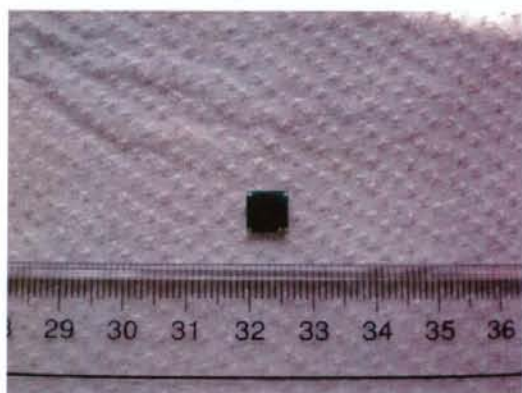


図2 マーカ写真

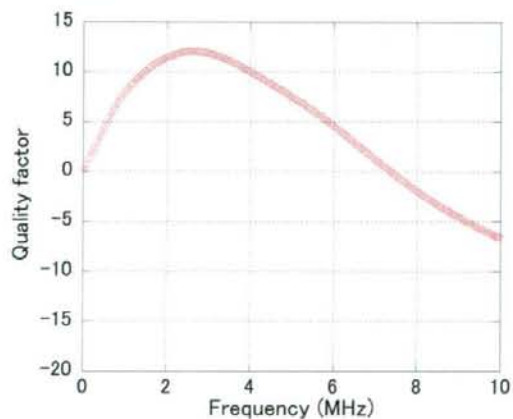


図3 マーカの周波数特性

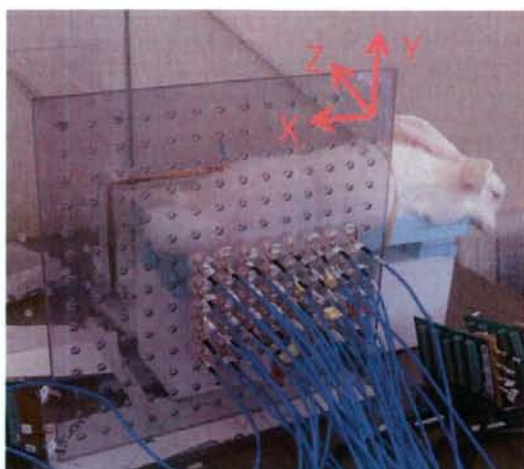
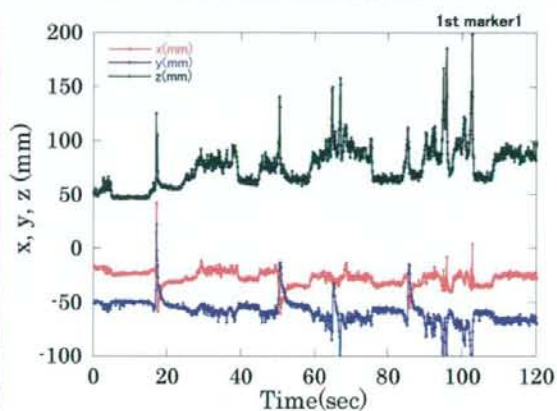
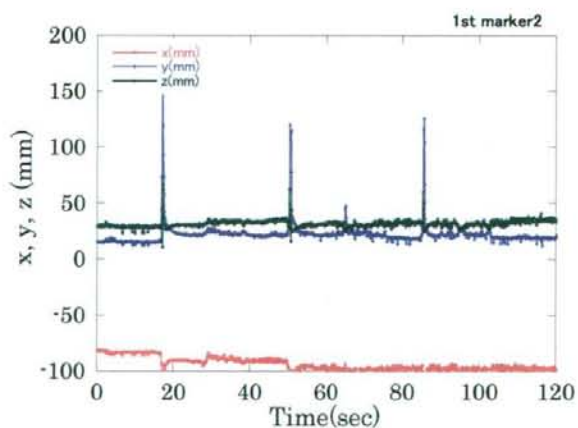


図4 実験動物による運動計測



(a) 後ろ足首付近



(b) 後ろ足腿付近

図5 埋め込んだマーカの計測位置