

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19年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 金高 弘恭

平成20（2008）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 ----- 7
小坂 健
2. 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 ----- 12
藪上 信
3. 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 ----- 18
栢 修一郎
4. ワイヤレス磁気マーカの位置検出精度向上に関する研究 ----- 25
荒井賢一

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 29

IV. 研究成果の刊行物・別刷 ----- 31

I. 総括研究報告書

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

主任研究者 金高 弘恭 東北大学特定領域研究推進支援センター
大学院歯学研究科（兼）・准教授

【研究要旨】

摂食・嚥下機能障害は脳卒中などの疾患の後遺症としてだけでなく、加齢現象のひとつとして発現することも多く、経管栄養を必要とする場合があるなど「食べる楽しみ」を奪うだけでなく、誤嚥性肺炎や低栄養状態のリスクを高めるなど、高齢者の生活の質を著しく低下させる要因と考えられている。このような摂食・嚥下障害に対しては、現在、主としてビデオ嚥下造影検査（Video Fluorography：以下、VFと略す）やビデオ内視鏡検査（Video Endoscopy：以下、VEと略す）を利用した機能評価や治療が行われているが、長時間のX線被爆の問題や違和感の大きな内視鏡の挿入など、高齢者にとって負担の大きな検査であるのが現状である。

一方、これまで我々は超小型磁気マーカを利用した生体内位置検出システムの分野では、世界をリードする研究を行ってきている（国際特許出願番号PCT/JP2005/006275，特願2004-106789，特願2003-326034，特開2002-355264）。特に磁気マーカを複数用いることにより測定対象を3次元構築した上で、その運動を高精度（測定誤差500 μ m以内）で測定する技術は、我々の研究チーム以外では皆無の新規的な技術であり、その新技术を応用して、すでに顎運動測定システムの開発に成功している。

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。

【分担研究者氏名・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
藪上 信 東北学院大学工学部・准教授
栞 修一郎 岐阜大学工学部・助教
荒井 賢一 (財)電気磁気材料研究所・理事

A. 研究目的

超高齢化社会を迎えた現在、咀嚼・嚥下機能障害は大きな社会的問題として認知されるようになり、実際、介護予防プログラムの大きな柱のひとつとして、「口腔機能の向上」が平成18年度より全国の市町村で実施されている。咀嚼・嚥下機能障害は脳卒中などの疾患の後遺症としてだけでなく、加齢的な現象として発現することも多く、経管栄養を必要とする場合があるなど「食べる楽しみ」を奪うのみでなく、患者の生活の質を著しく低下させる要因であり、咀嚼・嚥下機能障害に対する治療の需要は益々高まると考えられている。

しかしながら、従来からの口腔機能評価法は、ビデオ嚥下造影検査（Video Fluorography：以下、VFと略す）やビデオ内視鏡検査（Video Endoscopy：以下、VEと略す）など、X線被爆の問題や内視鏡挿入により摂食・嚥下を自然な状態で行うことが困難であるなど、簡便かつ非侵襲的にこれらの機能を詳細に測定する適切な方法は現在のところ存在しないのが実情である。

例えばVFを行う場合、高価な装置および特別な検査室が必要であり、X線の長時間にわたる被爆、造影剤誤嚥の危険性、側面もしくは正面からの2次元画像の評価しかできないなどの問題点がある。またVEでは、口腔から食道までの広範囲の同時観察が不可能なこと、内視鏡挿入のため自然な状態での嚥下が困難で検査時の負担が大きいこと、さらに咽頭痙攣や迷走神経反射による偶発症の危険性などの問題が考えられる。

一方、簡素な客観的評価法としては、反復唾液嚥下テスト(RSST)、水飲みテスト、咀嚼力評価、

フードテスト、舌圧・口唇圧テストなどが行われているが、咀嚼や嚥下の際に重要とされる舌や咽頭部での運動を詳細に評価するには必ずしも適してはいない。そのため、診断および治療に利用可能で簡便かつ高精度の測定装置開発が望まれてきた。

本研究では、生体への利用可能なモーションキャプチャシステムを新たに開発し、口腔内という遮蔽された特殊な空間内での舌や下顎の運動を正確に評価、さらには低下した機能に対するリハビリテーションにも応用可能なシステムを構築することで、高齢者の健康増進支援に役立てていくことを目的とした。

今年度（平成19年度）には、前年度までに構築された基本システムをさらに発展させ、より詳細な生体運動の計測を可能とするために、30cm四方の空間内で同期的測定できるマーカ数を10個に増やし、位置検出精度が1.0mm程度となる摂食・嚥下機能測定用に特化したシステムを完成させた。さらに生体用として特化したLC共振型ワイヤレス磁気マーカの開発にも着手し、薄膜平面コイルを積層したもの及びアモルファスリボンを積層したものといった2つの系統で、Q値およびS/N比の向上を行った。また、位置精度向上のため、センサ配置についても検討を行った。さらに、特定高齢者及び要介護認定者への口腔機能評価結果についても、症例数を増やし、より詳細に検討を行った。

B. 研究方法

B-1 摂食・嚥下機能評価システムの構築

摂食・嚥下機能の客観的評価を行うために、生体計測用に特化したワイヤレスの磁気式モーションキャプチャシステムを構築し、システム全体の位置検出精度について検討を行った。

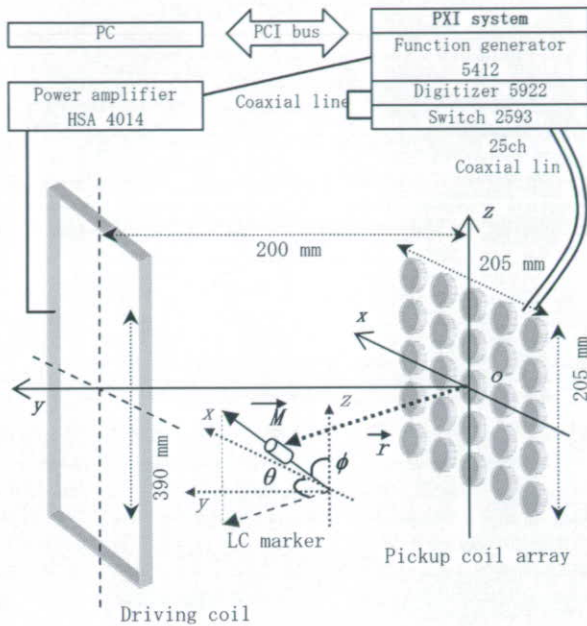


図1 システム全体の概略図

本システムは臨床応用を目的としていることから、磁気マーカは極力小型化もしくは薄膜化する必要がある。そのため生体への応用に際しては、薄膜コイルを積層したもの、もしくはアモルファスリボンを積層したものを磁気マーカとして利用する予定であるが、精度の検討は、ワイヤレスの交流磁界式モーションキャプチャシステムの基本技術を確立するために、直径3 mm、長さ10 mmのフェライト磁心 (TDK製L6, Ni-Znフェライト, $\mu_i = 1,500$, $B_s = 0.28$ T) 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したものを外部磁界による駆動が可能なLC共振型ワイヤレス磁気マーカとして利用した。各マーカ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た。

サイズは、直径4 mm、長さ10 mm、重さは0.5~0.8 g程度である。

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0.26 mm×10回巻き) と、直径25 mmのアクリル製ボビンに巻かれた25個の検出コイル (線径0.1 mm×40回巻き) が45 mm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200 mmの間隔か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マーカの位置を算出するためのパソコンからなる。

(倫理面への配慮)

被検者を用いた摂食・嚥下機能測定に先立ち、東北大学大学院歯学研究科研究倫理専門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する。本研究に際し、被検者に対し、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 (同意書作成) で測定を行うこととする。

B-2 位置検出原理

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。

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

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

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

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、 θ は x - y 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、 ϕ 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。

B-3 生体用小型磁気マーカの開発

および特性の向上

本研究では、相互の磁界干渉を防ぎ、より高い測定精度が実現可能なLC共振型磁気コイルをワイヤレス磁気マーカとして利用する新しいシステムが基本的に動作可能であることを示したが、今後、LCマーカの一層の小型化および位置検出の高精度化をすすめ、実際の臨床現場での応用につなげていきたいと考えている。LCマーカ小型・薄膜化のために、薄膜平面コイルを積層したもの(図2-1)、もしくはアモルファスリボンを積層したもの(図2-2)

について検討を行った。

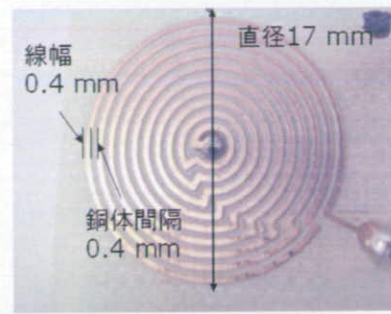


図2-1 薄膜平面コイル

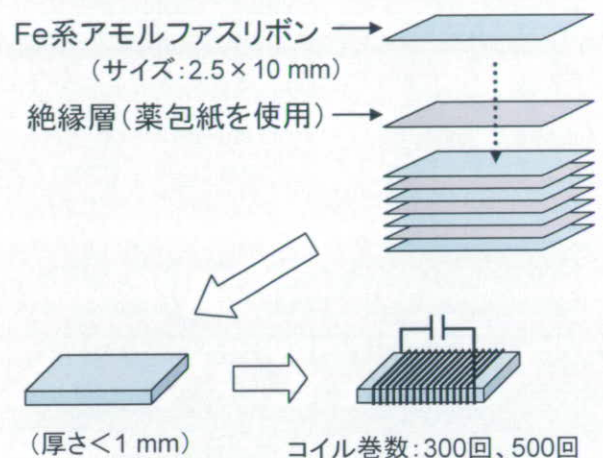


図2-2 積層アモルファス用いたLCマーカ

C. 研究結果

C-1 摂食・嚥下機能評価システムの構築

今年度(平成19年度)には、前年度までに構築された基本システムをさらに発展させ、より詳細な生体運動の計測を可能とするために、30cm四方の空間内で同期的測定できるマーカ数を10個に増やし、位置検出精度が1.0mm程度となる摂食・嚥下機能測定用に特化したシステムを完成させた(図3)。また、LCマーカに対する検出位置補正を専用ソフトウェアで行うことにより、位置検出精度の向上が認められた。

摂食・嚥下機能評価システム概略図

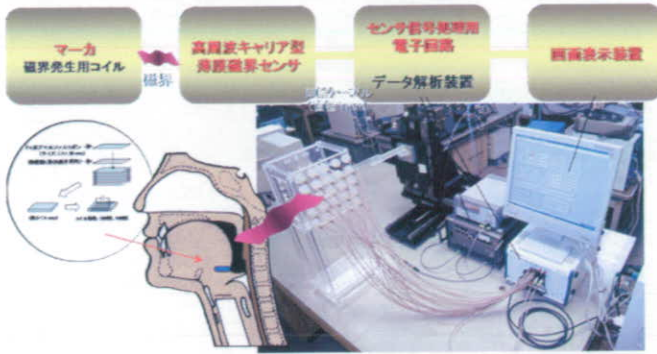


図3 摂食・嚥下機能評価システム概略図

C-2 生体用小型磁気マーカの開発

および特性の向上

薄膜平面コイルを積層、もしくはアモルファスリボンを積層することにより、磁気マーカの小型化および高性能化を行った結果、直径5mm、厚さ1mmまでの小型化、およびS/N比が30程度となる薄型磁気マーカの開発に成功し、位置検出に十分な値が得られた。今後も引き続き、今使用しているコイルより薄く、線幅、銅体間隔は小さく巻き数があるコイルを製作いく予定である。

D. 考察

本研究では、相互の磁界干渉を防ぎ、より高い測定精度が実現可能なLC共振型磁気コイルをワイヤレス磁気マーカとして、生体運動が測定可能であることが確認された。今後、より違和感が少なく自然な状態での測定を可能とするために、LCマーカの一層の小型化および位置検出の高精度化をすすめ、実際の臨床現場での応用につなげていきたいと考えている。

E. 結論

摂食・嚥下機能の評価・治療に従来用いられてきた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、基本的に動作可能であることが確認された。

また、薄膜平面コイルを積層、もしくはアモルファスリボンを積層することにより、磁気マーカの小型化および高性能化を行った結果、直径5mm、厚さ1mmまでの小型化、およびS/N比が30程度となる薄型磁気マーカの開発に成功し、位置検出に十分な値が得られた。

F. 健康危険情報

該当事項なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- ① Hashi S, Toyoda M, Yabukami S, Ishiyama K, Okazaki Y, Arai I K, Kanetaka H, Wireless magnetic motion capture system using multiple LC resonant magnetic markers with high accuracy. Sensors and Actuators A 142; 520–527, 2008.
- ② Kanetaka H, Suzuki A, Tomizuka R, Urayama S, Takano-Yamamoto T, Development of a new ultra-precision-polished pure titanium mirror for dental treatment. Interface Oral Health Science 2007; 355-356, 2007.
- ③ Tomizuka R, Kanetaka H, Shimizu Y,

Suzuki A, Urayama S, Takano-Yamamoto T,
Effects of initially light and gradually
increasing force on orthodontic tooth
movement.

Interface Oral Health Science 2007; 181-182,
2007.

④ Shimizu Y, Okayama K, Kano M, Kanetaka
H, Kikuchi M,

Osteoclast-mediated bone remodeling in
guided bone regeneration using graft
materials.

Interface Oral Health Science 2007; 329-334,
2007.

⑤ Urayama S, Kanetaka H, Shimizu Y, Suzuki
A, Tomizuka R, Takano-Yamamoto T,

The effects of orthopedic forces with self-
contained SMA appliance on cranial suture
in rat.

Interface Oral Health Science 2007; 353-354,
2007.

2. 学会発表

① Kanetaka H, Shimizu Y, Hosoda H,
Tomizuka R, Suzuki A, Urayama S,
Miyazaki S, Takano-Yamamoto T,
Application of Ni-free Ti-based shape
Memory Alloy Wire for Orthodontic
Treatment.

1st Asian BioMaterials Congress;

2007.12.06-08, Tukuba, Japan

② Shimizu Y, Kanetaka H, Hosoda H, Urayama
S, Kano M, Okayama K, Kikuchi M,

New Orthopaedic Treatment in Cranium
using Ti-based SMA Wire.

1st Asian BioMaterials Congress;

2007.12.06-08, Tukuba, Japan

③ 藪上 信, 金高弘恭, 栢修一郎, 荒井賢一
平面型ワイヤレス磁気マーカの検討
第 31 回日本応用磁気学会学術講演会, 13aB-5,
2007.9.11-14, 東京

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

高齢者の口腔機能の把握に関する研究

分担研究者 小坂 健 東北大学大学院歯学研究科・教授

【研究要旨】

介護保険法が改正され、2006年4月から施行された。新たな制度では、介護保険の基本的な理念である「自立支援」、すなわちその人の生活・人生を尊重し、出来る限り自立した生活を送ることを支援することを重点にして、その実現のため「介護予防サービス」の導入をすることとなった。このサービスに歯科関係者の深く関わる「口腔機能の向上」のプログラムが加わることとなり、高齢者の口腔機能を正確かつ簡便に把握する必要性がますます重要になってきている。

本研究では、より効率的な「介護予防サービス」を提供すべく、プログラム対象者の選定、関わる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、よりよいプログラムへの改善を提言ために、自己申告に基づくデータの信頼性市町村の住民健診において特定高齢者の把握の際に専門の歯科医師により口腔内審査を行い口腔内審査とチェックリストの項目（自覚症状）と客観的なデータについて比較を行った。その結果、咀嚼についてはある程度の一致はみられたが、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。今後、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。

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 (RSST)

を基に決定されるが、特に①、②、③については自己申告であることから、必ずしも客観的なデータと一致しないことがあると考えられている。そこでそれぞれの自己申告のデータの信頼性をみるために自己申告と客観的なデータとの乖離について検討を行った。

B. 研究方法

2007年9月及び10月に実施された仙台市A地区における一般住民健診受診者の内、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

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、被検者を用いた摂食・嚥下機能測定に先立ち、東北大学大学院歯学研究

科研究倫理専門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する。本研究に際し、被検者に対し、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うこととする。尚、その際に同意書を作成する。

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う。統計解析においては、個人情報除外されており、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

238人のデータから、欠損値を除いた213人のデータを利用した。平均年齢は73.6歳（SD=5.8）、男性74人（平均74.2歳、SD=6.2）、女性139人（平均73.3歳、SD=5.5歳）であった。

固いものが食べにくいと咀嚼力判定ガムによる結果では図1に示すとおり、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⑤反復唾液嚥下テストについては表1に示すとおり、むせる、むせないと反復唾液嚥下テストの異常のあるなしとの間に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、図2に示すとおり、明かな相関関係は認められなかった。

図1： 固いものが食べにくいと咀嚼力判定ガム

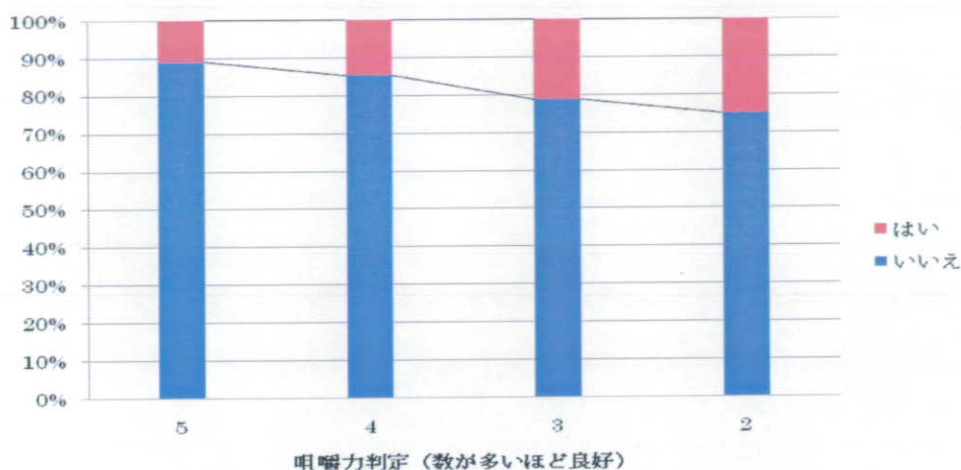


図2： 口腔乾燥と口腔水分計値

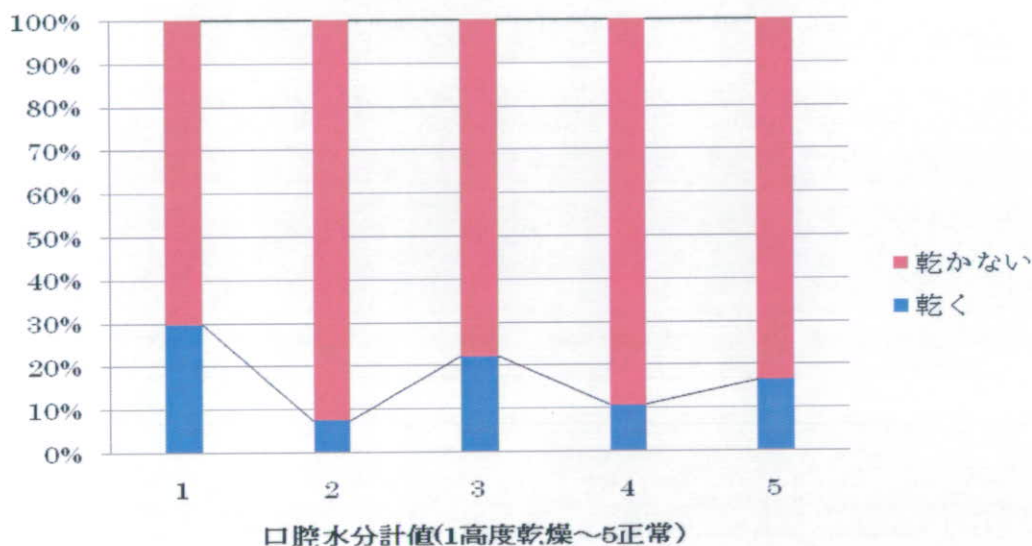


表 1

	むせない	むせる
正常	203	15
異常あり	9	2

P=0.425

高齢者にとって、おいしく、楽しく、安全な食生活は高齢者が健康で生き生きとした生活を送る上で欠かすことの出来ないものである。また、おいしく自分で食べられることは、脱水や低栄養の

予防にもつながる。要介護度が重度化するにつれて嚥下性肺炎を起こす危険性が高くなると言われていることや、多くの高齢者においては肺炎まで至らなくても、知らないうちに誤嚥している(silent aspiration)ことがわかっている。このような中で、わが国で世界に先駆け口腔ケアが嚥下性肺炎の予防に対して重要な役割を担うことが証明されてきており、様々な原因疾患や高齢化により引き起こされる軽度の摂食・嚥下障害を有する高齢者に対して、口腔ケアや健口体操をはじめとした

プログラムを行うことにより、高齢者の福祉に貢献していきたいと考えている。

本研究では、研究計画に基づきデータ収集のため、まとまった結果はまだ出ていないが、今後結果がまとまり次第、介護予防は、実際どのような高齢者を対象として行えば有効であるのかについて更なる検討を行っていく予定である。また、これまで歯科関係者以外には広く認知されているとは言い難かった口腔ケアの重要性について、介護予防への導入を機会として、様々な分野に波及していくことが考えられる。

D. 結論

介護保険制度が改正され、介護予防のプログラムとして、新たに口腔ケアがプログラムに取り込まれた。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。

その結果、咀嚼についてはある程度の一致はみられたが、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。今後、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る。

E. 研究発表

1. 論文発表

① 通所介護施設利用者における介護予防口腔関連項目と歯科医療ニーズに関する研究
口腔衛生学会雑誌(投稿中)

2. 学会発表

① 小坂健

自立した老後を迎えるために今できること
東北歯学会雑誌(印刷中)

② 野口有紀, 相田潤, 丹田奈緒子, 山田雄大,
小川裕平, 天野一字, 伊藤恵美, 小関健由,
小坂健

通所介護施設のサービス利用者における基本チェックリスト口腔関連項目と歯科医療ニーズとの関連

口腔衛生学会雑誌. 57 巻 4 号. 378(2007. 08)

③ 野口有紀, 相田潤, 丹田奈緒子, 山田雄大,
小川裕平, 天野一字, 伊藤恵美, 小関健由, 小坂健

要介護高齢者の義歯装着・喫煙経験年数および薬剤の服用の関係について

口腔衛生学会雑誌. 57 巻 3 号. 229(2007. 07)

④ 相田潤, 森田学, 安藤雄一, アクター・ラヘナ, 小坂健

3 歳児う蝕有病者率の社会経済的状態に関連する地域格差は拡大傾向にある

口腔衛生学会雑誌. 57 巻 4 号. 361(2007. 08)

⑤ 小齋薫, 相田潤, 伊藤恵子, 岡村圭子, 渋谷得江, 小坂健, 小関健由

名取市における 3 歳児のう蝕要因に関する調査結果の解析. 口腔衛生学会雑誌. 57 巻 3

号. 228(2007. 07)

- ⑥ 相田潤, 野口有紀, 丹田奈緒子, 山田雄大,
小川裕平, 天野一宇, 伊藤恵美, 小関健由, 小
坂健

通所介護施設での通所サービス利用者の歯科医
療ニーズについて

口腔衛生学会雑誌. 57 巻 3 号 Page225(2007. 07)

F. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

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

分担研究者 藪上 信 東北学院大学工学部・准教授

【研究要旨】

本研究では、生体への利用を考慮し、装着時に違和感の少ない薄膜平面コイルを磁気マーカとして利用することを目的とし、薄膜平面コイルの積層化によるLC共振型ワイヤレス磁気マーカの開発を行った。薄型マーカであること、および高い位置検出精度が必要であることを考慮して共振周波数を10 MHz, 5 MHz, 1 MHzに設定し、Q(共振の性能指数)およびSN比の向上に関する検討を行った。

A. 研究目的

摂食・嚥下時の下顎や舌など各器官の運動測定を行うために、薄膜平面コイルを積層化することにより、口腔内設置を考慮した違和感の小さな生体計測用に特化した薄型ワイヤレス磁気マーカを製作し、高精度の生体計測を行うシステムを構築することを目的とする。

具体的には、口腔内への設置が可能な直径5mm, 厚さ1mmの薄型マーカを作成する。顎運動や舌運動等の顎顔面部の運動計測では検出コイルと励磁コイルの距離が100～150 mm程度必要であり、位置検出精度を1 mm程度にするためには、SN比が20～30程度得られる薄型マーカを製作していくのが課題である。

B. 研究方法

プリント基板加工装置(CAM21-RS)を使いコイルを製作した(本研究では線幅、銅体間隔0.4mm、巻数両面10回巻きのコイルを製作した)。

次に共振周波数の設計値のインダクタンスをネットワークアナライザ(Anritsu MS4630B)で測定した。コイルに取り付けるコンデンサの値を算出し、(1)式を(2)式に変換し、測定したインダクタンスを代入し計算した。

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$C = \frac{\left(\frac{1}{2\pi f}\right)^2}{L} \quad (2)$$

製作したマーカの高周波電気特性はネットワークアナライザで測定した。薄膜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。

C. 研究結果および考察

C-1 生体用薄型マーカの試作と設計

生体運動の測定に特化したモーションキャプチャシステムでの利用を目的とした、薄型LC共振型磁気マーカを検討した。

図1は想定する位置検出システムを模式的に示したものである。このシステムは励磁コイル、検出コイル、LC共振型マーカから構成され、システムではマーカの共振周波数に同調させた交流磁界を励磁し、多点マーカからの誘導磁界を各検出コイルで計測して、マーカの位置および方向を最適化するものである。本研究ではこのシステムに用いるマーカを口腔内等に貼付することを想定し、平面型で構成するため基礎検討を行った。

図2は試作した平面型マーカの一層の写真である。平面スパイラルコイルはプリント基板加工装置（ミツ製FP-21型）により作成した。ターン数は10、スパイラルの線幅および線間隔はそれぞれ0.3mmとした。これをガラエポ基板の両面に構成し、10層のスパイラルコイルを直列に接続した。マーカの共振周波数は約10MHzとして設計した。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）を用いて励磁コイルおよび検出コイルを150mm離れた間にマーカを挿入して透過測定した。

図3は試作したマーカの共振周波数付近における透過係数の周波数依存性を示したものである。縦軸はマーカを挿入した状態と取り除いた状態のベクトル的な差分を求め、その電圧の振幅を示した。グラフの裾野からピークまでの差分が使用した

マーカの信号強度になる。ノイズレベルは約0.05 μ Vであり、これはモーションキャプチャシステムとして使用を想定しているADコンバータのノイズレベルとほぼ同等である。共振マーカの寄与分共振時の性能指数は21、SN比は約30であり、位置検出に十分な値が得られた。

上記の知見に基づき、電磁界シミュレータにより2次元の電磁界解析を行い、5mm \times 5mm程度のサイズを想定し、マーカの最適サイズを検討した。図4は電磁界シミュレーションを行った際の解析モデル図である。解析はAnsoft社のMaxwell 2Dを使用して、軸対象解析を行った。図5は解析結果から得られた磁束線図を示している。図6はマーカの性能指数、インダクタンス等を求める手順を示した。図7は最適と考えられる導体のレイヤー数が6の場合の抵抗、インダクタンス、性能指数の周波数依存性について求めたものである。平面コイルのサイズは直径5mm、線幅および線間隔はそれぞれ60 μ m、総ターン数は120とした。計算の結果、10MHzにおいて、性能指数は約27得られることがわかった。

C-2 生体用モーションキャプチャシステムの開発

図8は試作したモーションキャプチャシステムの写真である。高速DAコンバータおよびADコンバータを内蔵したPXIボードにより構成されている。ADコンバータのサンプリング速度は100MHzであり、最高10MHzまでの正弦波電磁界の計測が可能である。

図9はノイズレベルを評価するための電氣的結線を表したものである。図10は計測時間に対する

ノイズレベルを示した。比較のために、一昨年度試作した100kHzで動作するモーションキャプチャシステムのノイズレベルを示した。図9より今回のモーションキャプチャシステムのノイズレベルは前回システムに対して約1桁低下しており、高感度化されていることがわかる。これはサンプリング速度が100倍高速化しており、白色雑音 $1/10(=100^{-1/2})$ となっていることからノイズのセオリーから考えて合理的であると考えられる。

D. 結論

顎運動や舌運動等の顎顔面部の運動計測では、検出コイルと励磁コイルの距離が100～150 mm程度必要である。そして位置精度を1 mm程度にするためにSN比が20～30得られる薄型マーカを製作していくのが課題である。

前年度（平成18年度）までの研究で、SN比が10程度までの薄型マーカを製作が可能となっていたが、今年度（平成19年度）は、さらにSN比を向上させるために、SN比が約30となる薄型磁気マーカの開発に成功し、位置検出に十分な値が得られた。今後も引き続き、今使用しているコイルより薄く、線幅、銅体間隔は小さく巻き数が多いコイルの製作を行っていく予定である。

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, 小笠原浩太, 齋藤秀樹, 栢修一郎, 豊田征治, 岡崎靖雄, 荒井賢一
多点ワイヤレス磁気マーカによる指先のモーションキャプチャシステム
Journal of the Magnetics Society of Japan, vol. 31, No. 6, pp. 439-444, 2007.

2. 学会発表

- ① 藪上 信
室温で動作する薄膜磁界センサ, "ワイヤレス磁気マーカによるモーションキャプチャ"
東北学院大学 環境防災研究所・研究発表会 (仙台)2007. 12. 14
- ② 藪上 信, 金高弘恭, 栢修一郎, 荒井賢一
平面型ワイヤレス磁気マーカの検討
第31回日本応用磁気学会学術講演会, 13aB-5, (東京) 2007. 9. 11-14
- ③ 藪上 信
室温で動作し10-13 Tの磁界検出分解能を有する薄膜磁界センサ
EMC仙台ゼミナール (仙台) 2007. 7. 24
- ④ 藪上 信, 齋藤秀樹, 渡邊 尚, 荒井賢一, 高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化
電気学会マグネティックス研究会, MAG-07-49 (南紀白浜) 2007. 7. 12

F. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

図一覽

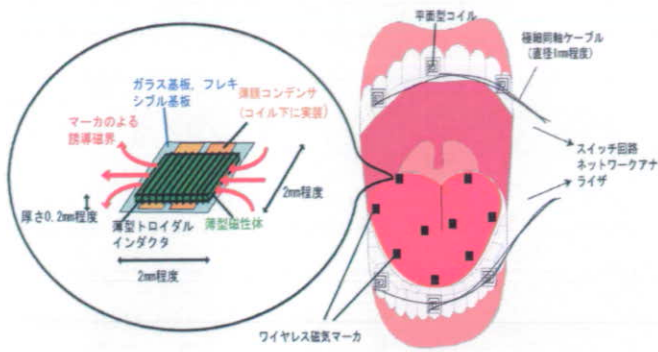


図 1

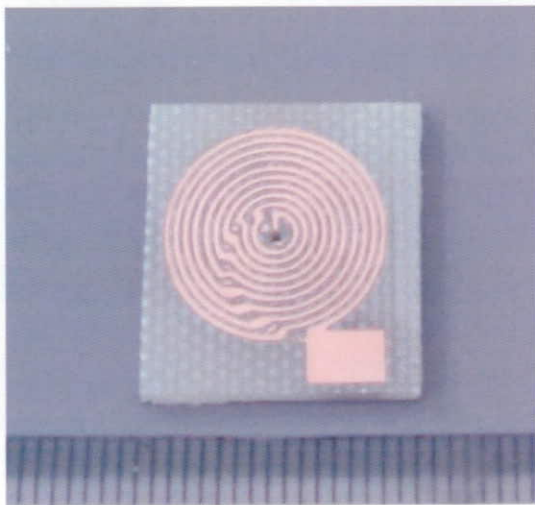


図 2

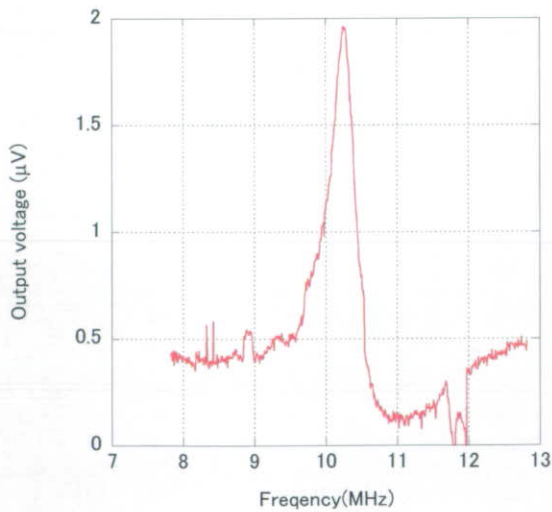


図 3

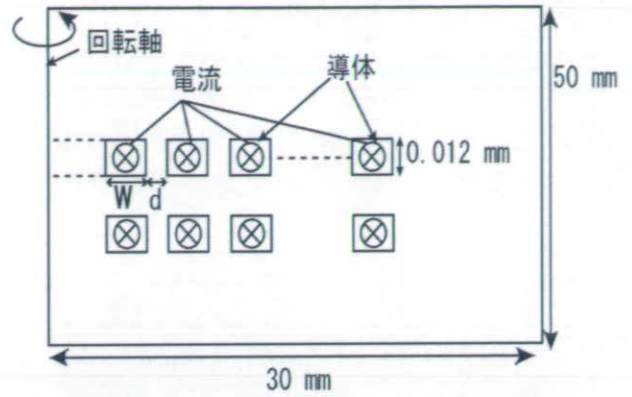


図 4

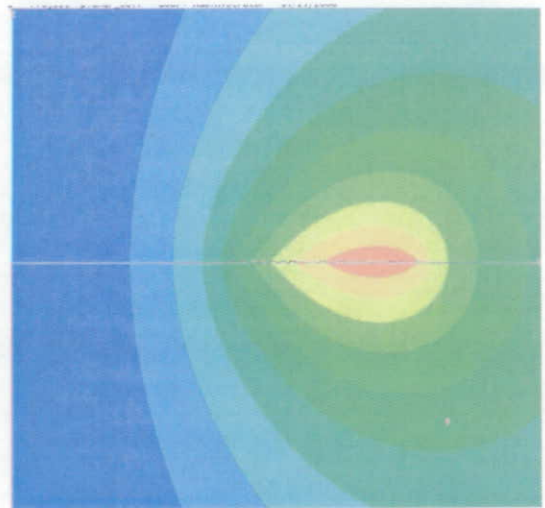


図 5

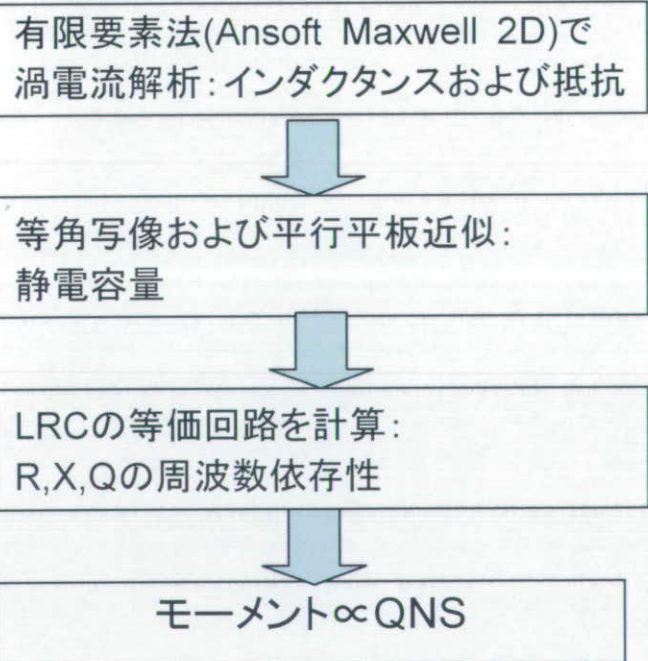


図 6

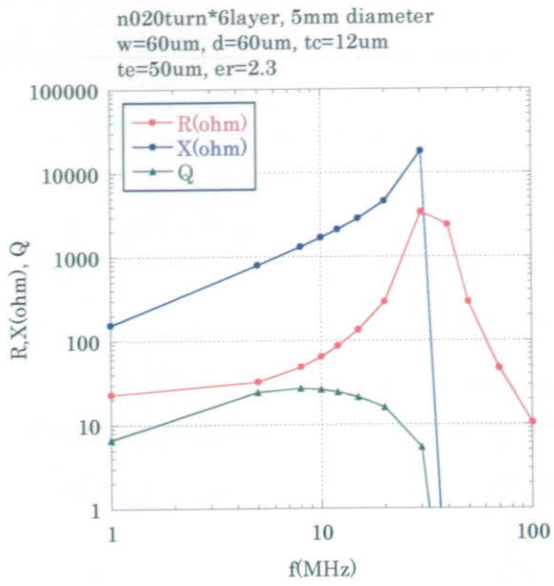


図 7

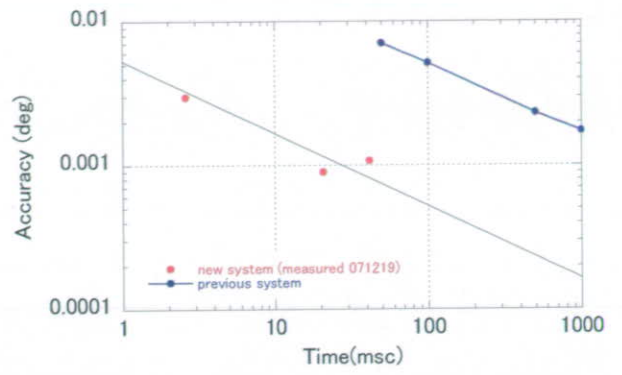


図 10



図 8

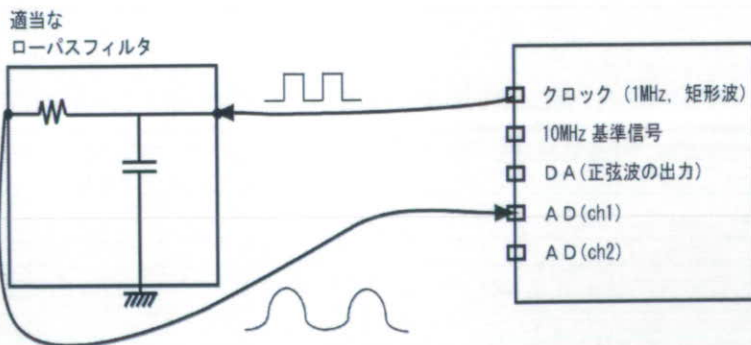


図 9

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

分担研究者 栢 修一郎 岐阜大学工学部・助教

研究要旨

口腔内への適用を考慮して、LC マーカの主要構成部品である磁気コアの小型化による LC マーカの薄型化の検討を行った。その結果、厚さ $20\mu\text{m}$ 程度のアモルファスリボンを絶縁積層した磁気コアを用いることで、LC マーカ全体の厚みを 1mm 以下に抑えるための知見が得られた。

A. 研究目的

被験者の口腔内において、ストレスフリーで貼付可能なサイズを実現しつつ、高精度な位置の計測が可能な LC 共振型磁気マーカの開発を目的とした。具体的には、マーカを構成する磁気コア材の見直しと小型化について検討を行った。

B. 小型 LC マーカの設計・試作

被験者の口腔内で違和感のないサイズの目安として、縦・横 5mm 、厚さ 1mm 程度を目標とした。直径 1mm 、長さ 5mm のフェライトと厚さ $23\mu\text{m}$ のアモルファスリボンを絶縁積層した磁心を用いてマーカの小型化に関する検討を行った。また位置検出性能の比較のため、従来のサイズのフェライト磁心(直径 3mm 、長さ 10mm)のマーカを用意した。

まず LC マーカのコイル部のインピーダンスをベクトルネットワークアナライザで測定し、共振回路の性能指数（以降 Q 値と呼ぶ）の周波数特性を算出した。このとき、アモルファスリボン積層磁心を用いた場合のインピーダンス測定では、形状や積層枚数、アモルファス合金の種類など各種条件を変化させた場合の測定時の利便性を考慮して、非磁性のプラスチック板で作成したコイル枠(図 1 参照)に銅線を巻いてコイルを

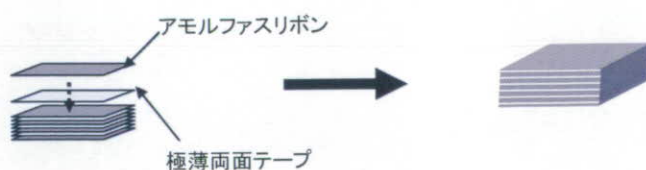


図 1 アモルファスリボン積層磁心の作製の流れ

作製し、このコイル枠に作製したアモルファスリボン積層磁心を挿入して測定を行った。またマーカの共振周波数の決定には Q 値が最も高くなる周波数帯を選出した。

次に、励磁波の測定周波数を決定するため、マーカ寄与電圧の計測を行った。それぞれのマーカの共振周波数域において励磁界の周波数を 0.1 kHz 刻みで掃引し、バックグラウンド電圧を取得した後、LC マーカを挿入し、誘起電圧の周波数特性を測定した。これらの電圧データの差分を取って、マーカ寄与電圧の主成分特性を算出し、マーカ寄与電圧が極大および極小になる周波数を調べた。LC マーカは座標 $(0, 50, 0)$ にそのマーカの中心軸が励磁コイル軸および検出コイル軸に対し平行になるように配置した ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 90^\circ$)。このとき原点(検出コイルアレイの中心に配置されたコイル)に発生した誘起電圧を計測して測定周波数を決定する。

小型マーカ用磁心として、直径 1mm 、長さ 5mm の円柱形の Ni-Zn フェライト磁心(L6、TDK 社製、表 1 参照)を用意した。これに銅線を 100 回巻きコイルとし、インピーダンスの周波数特性を測定し Q 値を算出した。

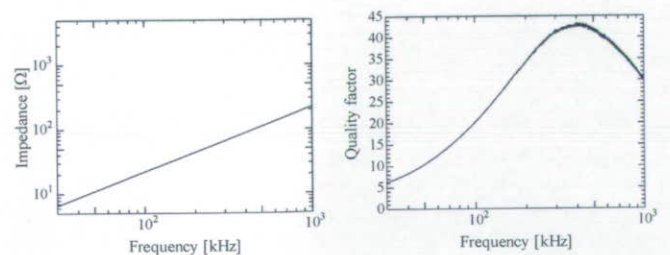


図 2 微小フェライトのインピーダンスと Q 値の周波数特性