

経鼻胃管挿入時における管先端位置の電磁モニタリング法の開発

Development of Electromagnetic Monitoring Method of Tip Position of Tube in Inserting a Nasogastric Tube

2011004



研究代表者

大分大学 工学部
機械・エネルギーシステム工学科

准教授

後 藤 雄 治

共同研究者

(財) 厚生年金事業振興団
湯布院厚生年金病院

内科部長

宮 崎 吉 孝

[研究の目的]

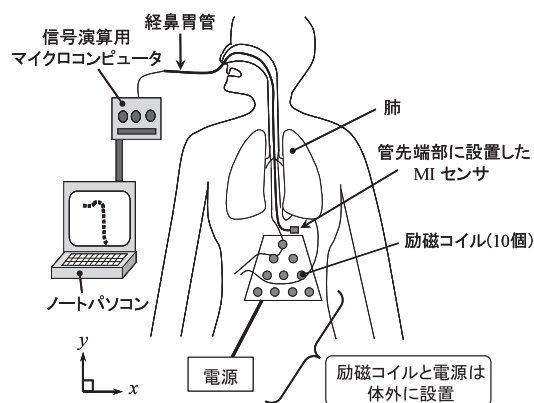
脳卒中患者の約 10% に嚥下障害が後遺し、経鼻胃管での栄養注入が必要となる。鼻から胃まで管を挿入する際、正しく胃に入らず咽頭でとぐろを巻くケースや、肺に入る等の誤挿入が多々ある。誤挿入のまま栄養を注入すると致命的な事態となる。そこで、管先端部が正しく胃へ到達したかを確認する手法が必要となる。一般的には、咽頭と胃の付近で 2 回 X 線撮影を行う 2 段階 X 線撮影法が推奨されているが、労力がかかり、毎食 2 回、計 1 日 6 回 X 線撮影を行うので人体への影響が懸念されている。本研究では経鼻胃管先端部に 3 軸 MI センサを設置し、体外に設置した 10 個の励磁コイルが発生させる静磁界を、それぞれ MI センサで測定することにより管先端部位置を推定する手法について検討を行った。

[研究の内容, 成果]

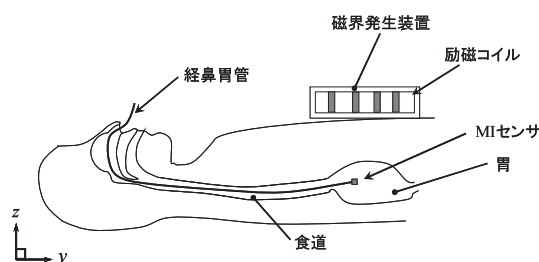
1. 基本検査原理

本研究では、経鼻胃管先端部に 3 軸 MI センサを設置し、体外に設置した 10 個の励磁コイルが発生させる静磁界を測定することで管先端部位置を推定する手法を提案する。なお、本提案手法では、励磁コイル 3 個を一組として位置推定を行う。検査原理は次の通りである。

まず、図 1 に示すように経鼻胃管先端部に GPS 機能付き携帯電話等に搭載されている 3 軸の地磁気を正確に検出できる 3 軸 MI (Magneto Inductance) センサを設置し、体外の 10 箇所に微小静磁界発生用励磁コイルを設置する。そして、励磁コイルに順番に数秒間のみ直流電流を流し、各励磁コイルが発生させる静磁界を体内に挿入された MI センサにより測定し 3 箇所からの磁界強度を使用して MI セン



(a) 上面図



(b) 側面図

図 1 検査概念図

サ位置を推定するものである。

2. 実験方法

人体における臨床実験の前に湯布院厚生年金病院において実験を行った。図2に検査装置の写真を示し、図3に励磁コイル配置、表1に各励磁コイルの位置座標を示す。まず、同じ形状をした10個の励磁コイルを図3のように配置する。次に、各励磁コイルに順番に直流電流を流し、各励磁コイルが発生させる磁界を3軸MIセンサで測定し、3箇所からの磁界強度を使用して、経鼻胃管先端部（MIセンサ）位置を計算する。そして、検査装置で求めた管先端部位置座標とCTで測定した位置座標の比較を行う。

標準的な体型の患者の場合は体の表面から深さ10 cm程度までが胃の領域で、それより深い領域が肺となる。



図2 実験装置

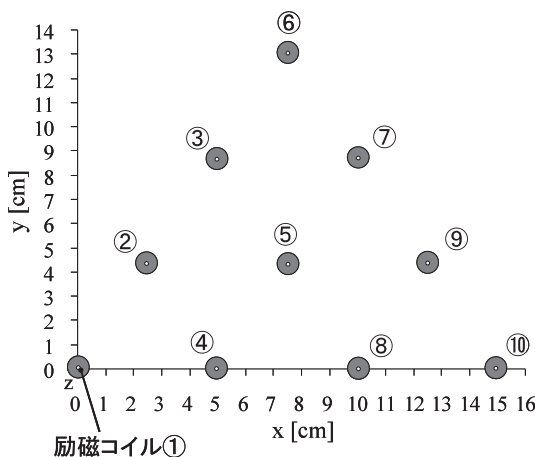


図3 励磁コイルの配置

表1 励磁コイルの座標

	座標 [cm]		
	x	y	z
励磁コイル①	0.0	0.0	0.0
励磁コイル②	2.5	4.3	0.0
励磁コイル③	5.0	8.7	0.0
励磁コイル④	5.0	0.0	0.0
励磁コイル⑤	7.5	4.3	0.0
励磁コイル⑥	7.5	13.0	0.0
励磁コイル⑦	10.0	8.7	0.0
励磁コイル⑧	10.0	0.0	0.0
励磁コイル⑨	12.5	4.3	0.0
励磁コイル⑩	15.0	0.0	0.0

3. 3軸MIセンサの位置推定方法

本研究では、各励磁コイルに直流電流を流したときに発生する磁界を3軸MIセンサで測定し、進化戦略法¹⁾を用いてMIセンサ位置を推定する手法を検討した。本提案手法におけるMIセンサ位置推定の手順を図4に示す。進化戦略法を使用したMIセンサの位置推定計算手順は以下の通りである。

①初期値としてMIセンサ座標が既知の点(x, y, z)を与え、この座標値とこの位置で測定した3個の励磁コイルからの磁界の強さから、各励磁コイルの磁気モーメントmを求める。次に、任意の位置に置かれたMIセンサで得られた磁束密度の絶対値 $|B_k|$ と、任意の座標位置で計算した磁束密度の絶対値 $|B'_k|$ で、目的関数Wの計算を行う。

$$dB_k = |B_k| - |B'_k| \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W = \sum_{k=1}^{10} |dB_k| \quad \dots\dots\dots (2)$$

(k=0~10: 励磁コイルの番号)

ここでの $|B_k|$ は3軸MIセンサで測定された磁束密度の絶対値を示し、 $|B'_k|$ は任意の3軸MIセンサ位置での、計算で得られた磁束密度の絶対値を表す。なお、 $|B'_k|$ は以下の式を求める²⁾。

$$|B'_k| = \sqrt{B'^2_{kx} + B'^2_{ky} + B'^2_{kz}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

(k=0~10)

$$\left. \begin{aligned} B'_{kx} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{3m}{r_k^5} (z - Z_k)(x - X_k) \\ B'_{ky} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{3m}{r_k^5} (z - Z_k)(y - Y_k) \\ B'_{kz} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{3m}{r_k^5} \left[(z - Z_k)^2 - \frac{r_k^2}{3} \right] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(k=0~10)

$$r_k = \sqrt{(x - X_k)^2 + (y - Y_k)^2 + (z - Z_k)^2} \quad (k=0 \sim 10) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、(x, y, z) は推定する MI センサの座標を示し、(X_k, Y_k, Z_k) は磁界を発生させる既知の励磁コイル座標をそれぞれ示す。また、r_k は各励磁コイルと MI センサとの距離を示す。

② MI センサ位置 (x, y, z) の各座標に正規乱数を加え、目的乱数 W を計算する。もし、W の値が 1 回前に計算した目的関数 W の値よりも小さければ目的関数 W の値を更新する。この操作を x, y, z それぞれに関して 10 回ずつ繰り返す。

③ 繰り返し終了後に、目的関数が小さくなる確率が 1/5 以下ならば、正規乱数の標準偏差 σ に定数 C_d (0.817 ≤ C_d < 1) を乗じて探索範囲を狭め、確率が 1/5 以上ならば C_d で除して探索範囲を拡げて②を行う。なお、ここでの 1/5 はレッヘンベルグの 1/5 成功則¹⁾の確率統計論に基づいた値を用いている。

④ 正規乱数の標準偏差 σ の値が収束判定値 ε よりも小さくなった場合に、収束したとみなして探索を終了する。収束していない場合は、②へ戻る。また目的関数 W を計算する範囲は各座標 0 cm ~ 100 cm とした。標準偏差 σ は、3 個の励磁コイルで構成される正三角形の範囲内で正規乱数が発生するように 2.25 とした。また、定数 C_d は 0.85 とし、収束判定値 ε は 0.005 とした。なおこれらの値は経験値を用いている。

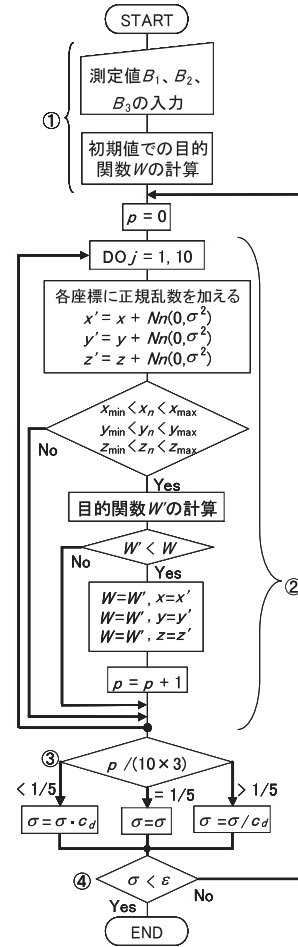


図4 進化戦略法フローチャート

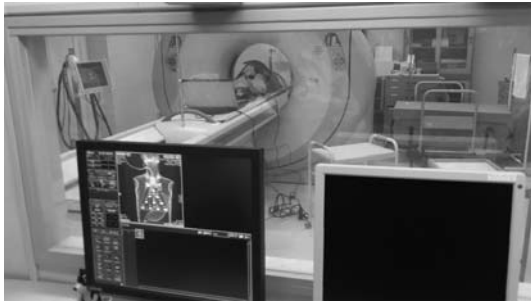
4. 位置推定結果

実験結果を表2に示す。また、病院での人体模型を使った検証実験風景を図5に示す。表2から、CTにより測定した MI センサ位置と本提案手法により測定した推定位置では、ケース(2)の y 座標で誤差が 1.10 cm で最大となった。その他のケースでは、誤差 1.0 cm 以内で推定することができた。

実際の臨床において、経鼻胃管先端部の位置推定に求められる精度は 1.0 cm 程度であるため本提案手法が使用できる可能性がある。

表2 MI センサ位置推定結果

ケース	CT による測定 [cm]			本提案手法による測定 [cm]			最大誤差 [cm]
	x	y	z	x	y	z	
(1)	8.78	7.64	8.82	8.79	7.64	9.00	z=0.18
(2)	7.33	0.00	8.38	7.10	1.10	8.65	y=1.10



(a) 位置測定時の様子



(b) CT 画像

図5 検証実験風景

5. まとめ

本研究で得られた知見，今後の方向・課題を以下に示す。

- 1) 10 個の励磁コイルそれぞれが発生する磁界の強さから，経鼻胃管先端部に設置した MI センサの位置を臨床の範囲内で推定することができた。
- 2) 今後はより実用化に向けて，装置全体の小型化やコストの改善を行う。

[今後の研究の方向，課題]

本提案検査システムによって，研究室レベルで十分に安全性，機能性を確かめた後，実際の臨床実験による検討を行う。本研究では，体内に磁界センサを挿入するため臨床実験を行う際には共同研究先である（財）厚生年金事業振興団湯布院厚生年金病院での倫理委員会で許可を得る必要がある。倫理委員会の承認が得られ次第，臨床実験を実施して，より実用的な装置開発を行う予定としている。

[成果の発表，論文等]

- (1) 松岡 綾，館 雄也，森元雄大，後藤雄治，宮崎吉孝，高橋則雄：“電磁気を用いた経鼻胃管先端部の非接触位置推定法の提案”，第 14 回表面探傷シンポジウム，（社）日本非破壊検査協会，pp.108-111, 2011 【新進賞受賞】
- (2) 中村敦司，古川寛人，後藤雄治，宮崎吉孝，高橋則雄：“交流磁界を用いた経鼻胃管先端部の非接触位置推定法の提案”，第 15 回表面探傷シンポジウム，（社）日本非破壊検査協会，pp.59-64, 2012 【新進賞受賞】