

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：32678

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560169

研究課題名(和文) 災害救助支援を目的とした、位置・方位情報に基づく小動物の目的地自動誘導技術の研究

研究課題名(英文) Automatic Rescue Rat Guiding System Based on Locational and Directional Information

研究代表者

島谷 祐一 (SHIMATANI, YUICHI)

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号：20154263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はラット等の小動物にGPSセンサーや電気刺激装置などを搭載した小型の装置を装着し、被災地において人の進入が困難な地点への誘導を行う技術の開発を目的とした。ラットの脳深部を電極で電気刺激して歩行運動を誘発し、その刺激強度に方位による変化を加えることで歩行運動に方位的偏りを与え、訓練を全く受けていない動物でも自由歩行の結果目的地に到達するような自動誘導システムを完成させた。研究ではラットの体に装着してラットを特定の方角に誘導するためのバックパックの設計と製作と室内フィールドでの誘導実験を行った。研究は成果を上げ、ラットを任意の方角に予想以上の短時間で確実に自動誘導することに成功した。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to develop an automatic rescue rat guiding system based on a new method utilize the locational and directional information. In this method, the rat reward system is stimulated with an implanted electrode so that stimulus frequency increases as the rat turns its body axis toward the destination.

We develop a "back pack" for rats, which is equipped with a GPS module, digital compass, micro electrical stimulator and PIC microprocessor to integrate sensor information and decide stimulate conditions. As a result we were successful in navigating rats to the destination accurately in short time in the indoor field.

研究分野：生体医工学

キーワード：災害救助 生物・生体工学 ラットナビゲーション 脳・神経 報酬系

1. 研究開始当初の背景

地震災害や大事故の発生現場では、大量のがれきに阻まれて作業地点への到達が遅れ、被害が拡大する場合がある。災害発生直後、人の進入は無理でも何らかの方法で対象地点にアプローチし連絡や情報の収集ができれば、人命救助や二次災害の防止に成功する確率は格段に上がる。そこで、現在様々な災害救助ロボットの開発が進められているが、散乱するがれきの狭い隙間を自在に進むことは困難である。そのため、より自在に進む能力が優れているラット等の小動物を使用した目的地誘導技術の研究が米国等で進められている¹⁾。しかし、従来の誘導方法はラットに事前訓練を必要とし、また動物を操縦するために遠隔地から指示を与え続ける必要があり、動物への負担も大きく実用性に問題がある。

2. 研究の目的

以上のことから本研究ではラットに位置センサーや方位センサーを搭載した小型の装置を装着し、対象地点までの自動誘導を行う技術の開発を目的とした。本研究ではラットを遠隔操縦するのではなく、バックパックに装着した位置・方位センサーによって大脳の報酬系への電気刺激によって自由歩行の活動度に方位的偏向を生じさせ、目的地に自動誘導する新しい方法を開発する。そのため本研究の具体的目標は、1. ラットを自動誘導するためのバックパック装置を設計し試作すること。2. 試作したバックパック装置を用いて最終的には、学習訓練を全く施さないラットが自由な経路で障害物を回避しながら目的地に到達し帰還する実験を室内フィールドで行い成功させること。以上の2点である。

3. 研究の方法

(1) バックパックの製作

バックパックを装着するラットの負担を軽減し、かつ小型のバッテリーで長時間の動作を可能にするため、電気回路を構成する部品には小電力のチップ半導体を用いた。製作は実体顕微鏡下で行った。PIC マイコン (16F1825) のプログラムは MPLAB X 開発環境を用いてC言語で行った。

(2) 電気刺激電極の埋め込み

すべての動物実験は、動物愛護管理法および文科省の動物実験指針に従い、東京都市大学動物実験規程に基づき同大学動物実験生命倫理委員会の審査と学長の承認を経て行った。

刺激電極は直径約 $40\mu\text{m}$ の絶縁皮膜ニクロム線 2 本を一つに束ねて一端に電気刺激装置接続用コネクタを取り付けたものを使用した。電極先端部には斜角研磨を行い、電極抵抗を下げると同時に脳への刺入を容易にした。埋め込み手術は、ケタミンとソムノペンチルの二重麻酔で十分に深い麻酔をか

けたラットの頭皮を切開し、頭蓋骨の一部を露出させ、直径 0.5mm の穴を外科用ドリルで空け、作成した電極を MFB (AP-3.8, ML+1.6, DV+8.2) の位置に刺入した。その後、コネクタを少量の歯科用レジで頭蓋骨に固定した (図1)。手術後一週間以上の回復期間を設けた後に各実験を行った。

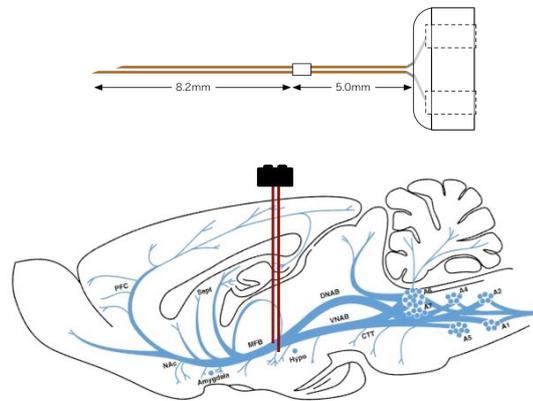


図1 電気刺激用電極とMFB挿入部位

4. 研究成果

(1) 目的地自動誘導のしくみ

脳の報酬系を刺激されたラットは徘徊運動を活発に行うようになり、その活動度は刺激頻度に比例して高くなるのが分かっている。そこで報酬系の刺激頻度に方位的重みづけを行い、ラットが目標の方角を向いている時に刺激頻度が高くなるようにしてやれば、ラットは徘徊行動を繰り返しながら目的地に向かって近づいていくと考えられる。したがって目的地の位置とラットの現在位置から随時目標の方向を更新するよう誘導装置をプログラムすれば、自動誘導によって最終的にラットを目的地に到達させることが可能であると思われる。図2はこのアイデアを示した図である。計算された目標の方角とラットの体軸との差にはある程度の許容角を設け、体軸がこの範囲にある場合に刺激の頻度を上げることで誘導が円滑に行われる。また体軸方向が許容角をはずれた場合でも報酬系への刺激を程頻度で持続することでラットの歩行運動を誘発し続け、ラットが長時間停止することを防いでいる。

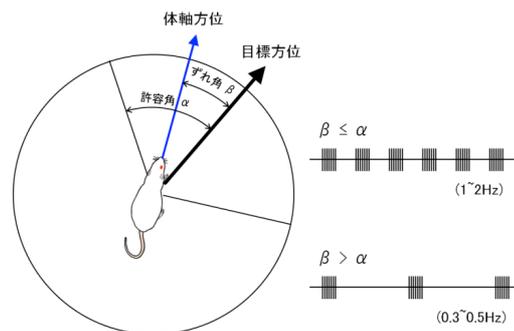


図2 目的地自動誘導のしくみ

(2) バックパックの試作

広いフィールド内で報酬系刺激を行いながら目的地に自動誘導するためのバックパック装置を作成した。この装置をジャケットでラットに装着し、埋め込み電極のコネクタに出力端子を接続して電気刺激を行った。バックパック装置には位置センサー、方位センサー、電気刺激装置、無線通信装置及びそれらを制御するPICマイコンを搭載した(図3)。

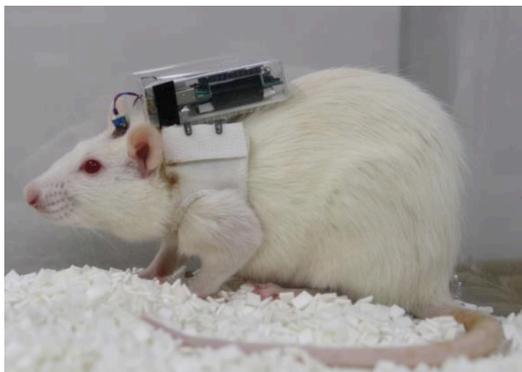
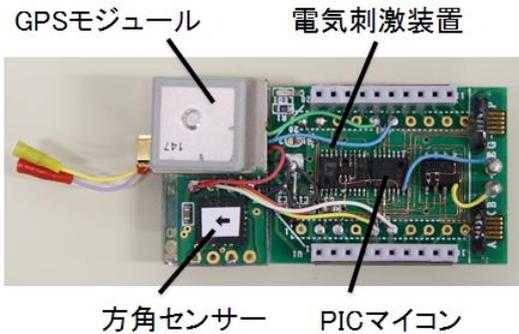


図3 バックパックとラットへの装着の様子

自動制御のアルゴリズムは図4に示してある。PICマイコンには目的地の方角を算出し、ラットがその方向に向いたときに報酬系刺激の頻度が高くなるようなプログラムを設定した。

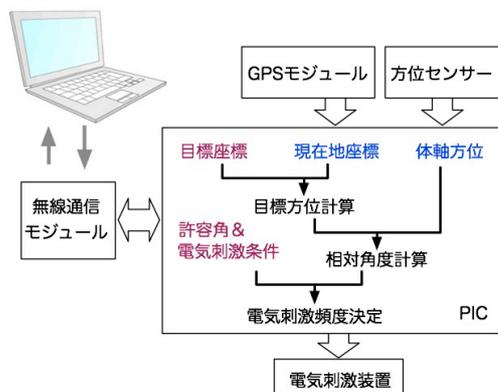


図4 バックパックの構成と制御アルゴリズム

具体的にPICマイコンは次の手順で動作させた。1. 定期的にGPSセンサーの値から現在

地座標を取得し、また方位センサーからは体軸を取得する。2. パソコンから無線で設定した目標座標と現在地座標から目標方位を算出する。3. 目標方位と体軸を比較し、目標に対する相対角度を計算する。4. この角度が無線で設定した許容角の範囲に入るかどうかを判断し、やはり無線で設定した電気刺激条件にしたがって電気刺激頻度を決定する。5. 電気刺激装置にパルス列を出力して脳の報酬系を刺激する。6. 現在地の座標と体軸の方位を定期的に無線でパソコンに通知する。

(3) 目的地自動誘導実験

本研究ではラットの報酬系に刺激電極を埋め込んで電気刺激を行い、ブレインマシンインターフェースを用いた目的地誘導を行う。報酬系は脳の広範囲に分布するドーパミン分泌神経系であるが、特に内側前脳束(MFB)を刺激したときに効果が強く現れるのでここに電極を刺入した(図1)。

① 刺激頻度と活動量

報酬系刺激をラットに行ったときのラットの活動量を計測し、自動誘導に最適な刺激強度を求めた。ラットを暗所においたゲージ内(30cmx50cm)に入れ、40分間電気刺激を繰り返し与え続けた。1回のパルス列における電気刺激の条件は、パルス幅1mSec、周波数100Hz、パルス回数10個、刺激強度250μAからなるバイポーラパルス列とした。次にこのパルス列を様々な刺激頻度で与え、各刺激頻度におけるラットの水平軸移動の活動量を活動量測定装置(LOCOMOLS-8, (有)メルケスト製)を用いて測定した。図5に示すようにパルス列頻度が上昇するにつれ活動量も増えたが、頻度が1Hzを超えると活動量はほぼ上限に達した。この結果をもとに、体軸が許容角内にある場合のパルス列発生頻度を2Hzとし、許容角外にある場合の頻度は0.3Hzとするのが最適であると判断した。

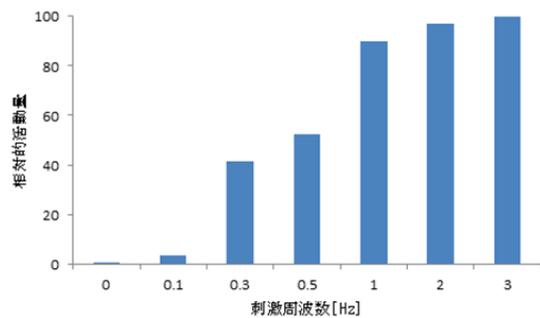


図5 パルス列頻度と活動量の関係

② 室内円形フィールドでの誘導実験

報酬系刺激による自動誘導方法の有効性について検証するため、室内に円形フィールドを設置し指定した方角にラットを誘導する実験を行った。図6は直径3.5mの円形フィ

ールド内にラットを放ち、真西の方角に目標地の座標を設定した時のラットの移動の様子である。上図は誘導開始からラットの10秒ごとの位置を線で結んで移動の奇跡を示したものである。青い点がスタート地点で赤が実験終了時のラットの位置である。ラットは誘導開始から1分以内にフィールドの西の端に移動し、その周辺を離れることなく徘徊している様子がわかる。下図は45度刻みの方角でラットが滞在した時間を示した図である。西の壁に進行を阻まれたラットは、さらに先に進むことに固執するような行動を示した。次に目的地の方向を反対側の真南に設定すると、ラットは反転して南側の壁に進み、さらに先に進もうとした。

このように目標値を任意の方角に設定すると、ラットは短時間でその方向に進もうとする行動を始めた。この結果は想定していた確率的運動方向偏向による移動よりも極めて短時間で移動であり、明らかにその方に強い興味を示した行動であることがわかった。また、方向を変えて数回指示を繰り返すだけでラットは特定の方角に進むことを学習し、誘導にかかる時間はさらに短縮した。これは予想を上回る良好な結果であった。

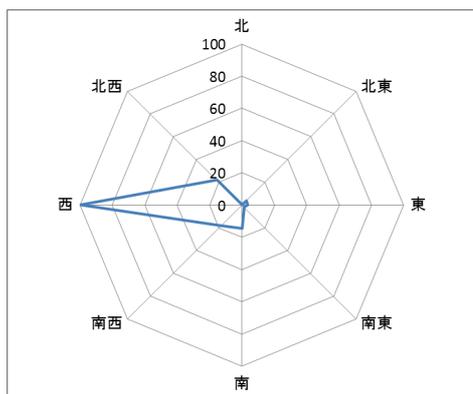
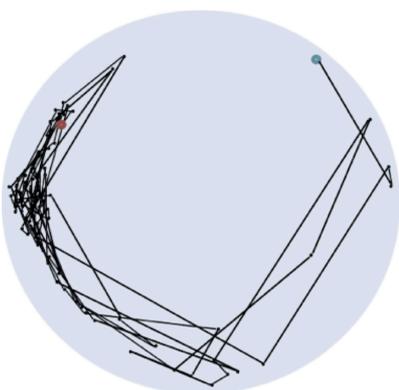


図6 円形フィールドでのラット誘導実験

この実験では室内フィールドでの問題点も判明した。部屋の床下や室内に置かれた機器からの磁場が地磁気に干渉して方位センサーからの値が異常を示す場合がしばしばあり、それに伴いラットの進行方向も設定した

方角から大きくそれることもあった。今後屋外実験を行い、がれきが発する磁場の影響をどのように回避するかを検討していく必要があると思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

- ① Daigo Matsui, Satohiro Oga, Masaki Kyoso, Shogo Kiryu and Yuichi Shimatani、Effects of Saline Solution on the Electrical Characteristics of Spiral Coils for Implantable Wireless Power Transfer. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics. 査読有、(2016) 掲載予定

[学会発表] (計 1件)

- ① 長利 文恵 (島谷 祐一)、災害救助支援を目的とした、位置・方位情報に基づく小動物の目的地自動誘導技術の研究、第14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、2013. 12. 18、神戸国際会議場 (兵庫県神戸市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島谷 祐一 (SHIMATANI, Yuichi)
 東京都大学・工学部医用工学科・准教授
 研究者番号：20154263

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

京相 雅樹 (KYOSO, Masaki)
 東京都大学・工学部医用工学科・准教授
 研究者番号：20277825

(4) 研究協力者

長利 文恵 (OSARI, Fumie)
 橋本 純佳 (HASHIMOTO, Ayaka)
 松井 大湖 (MATSUI, Daigo)
 大賀 智裕 (OGA, Satohiro)