ラボテック
技術紹介

実験動物への「体内埋め込み式運動量/温度計測装置 nano tag®」の紹介

キッセイコムテック株式会社　**田口　勇次郎**

1. はじめに

弊社は脳波や筋電といった生体から計測できる信号を解析するノウハウを活かし、2000年に睡眠解析研究用プログラムSleepSign®を開発し販売を開始した。

このソフトウェアは、その名が示す通り睡眠状態を把握し解析をすることを目的としている。このソフトウェアはヒトも実験動物も同様の考え方で解析を行うが、ヒトも実験動物も脳波を計測する必要がある。脳波を計測するには機材が高価であり、特に実験動物での計測には手術手技の繊細さが必要で現在も困難が伴う。

そこで、ヒトの睡眠状態を簡易的に計測できるMicroTag活動量計（図2）という小型のアクチグラフに対応した、睡眠/覚醒リズム研究用プログラムSleepSign®-Act（図1）を2009年に発売した。腰部に装着するだけで、ヒトの睡眠/覚醒リズムや睡眠量を長期(100日)に渡って低負荷で計測し解析できる。

ある時、このMicroTag活動量計にパラフィンを使って防水加工を施し、ラットの体内へ埋め込み、運動量を計測した研究者が現れた。その結果は、それまでの赤外線センサーで計測された運動量と遜色ないデータであった。体内にセンサーを埋め込むことで、赤外線センサーでは計測できない環境下での計測を可能にできるものと考え、可能な限り小型化し完全防水を施した。このような経緯で生まれたのが「体内埋め込み式運動量/温度計測装置nano tag」（図3）である。

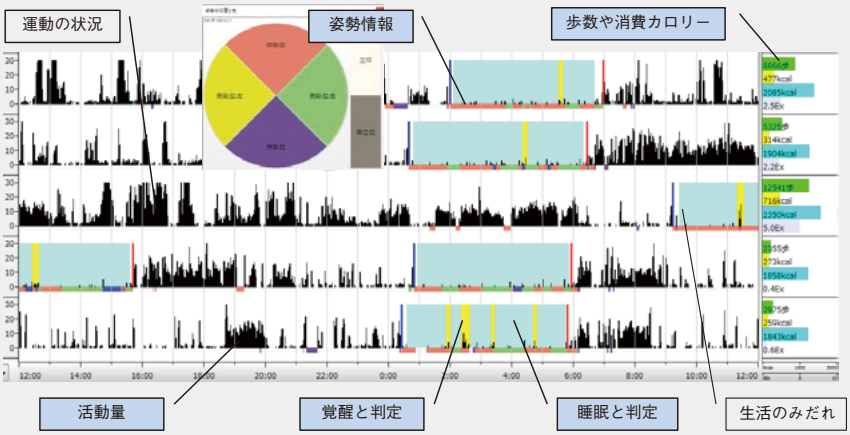

図1. 睡眠/覚醒リズム研究用プログラムSleepSign®-Act

図2. ラットに埋め込んだ当時のMicroTag活動量計（27mm×9.1mm, 9g）

図3. 運動量/温度計測装置nano tag（18.8mm×14.2mm×7.1mm, 2.7g）

2. nano tagの特徴

nano tagは、実験動物の体内に埋め込むことを想定し、小型化・完全防水化した運動量計測装置である。これまで運動量を計測するには、飼育ケージの上部に取り付けた赤外線センサーでの計測が一般的であったが、飼育ケージの広さや深さによって感度の調整が必要であった。更に回転輪やトンネル等の遊具

を入れる、または、複数匹を同一ケージに入れると赤外線が妨げられてしまっていた。

nano tag は機器を体内に埋め込むことによって、前述のような計測環境の制約を大幅に軽減することができた。更に、計測データは本体の内部メモリへ記録されるため、計測環境による電気的な影響も受け難い。

一方で、体内に埋め込むことで、当然、動物に負荷がかかることになる。機器自体が 2.7g あるため、体重が軽い小さな動物や、自発運動が弱まっている動物では高負荷になってしまう。また、完全防水化したことにより、電池交換ができず使い捨てである。計測データは本体の内部メモリへ記録されるため、長期間計測するには、時間分解能を低くしたり、計測途中でデータを一旦取り出したりと運用上の工夫が必要である。

3. nano tagでの計測項目

nano tag では、単位時間当たりの運動量と温度の他に、3 軸の加速度センサーからの生値（3 軸値と合成値）が計測できる。但し、運動量と生値は同時に記録することはできない。

3-1. 運動量

3 軸加速度センサーから計測した各 X, Y, Z（約 25Hz）の合成波に対して、感度にあたる閾値を任意に設定する。この閾値を下から上に横切った回数を単位時間当たりの運動量として記録する。（図 4）

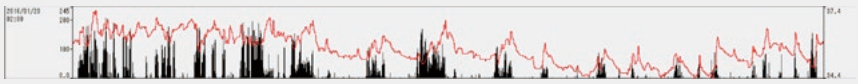

図4. nano tagで計測した24時間1分毎の運動量（棒グラフ）と体温（折れ線グラフ）

3-2. 3軸の加速度センサーからの数値

3 軸加速度センサーから計測した各 X, Y, Z 生波形データ（図 5）と、それらを合成した 3 軸合成波データ（図 6）を記録できる。但し、X, Y, Z 生波形データと 3 軸合成波データを同時に記録することはできない。

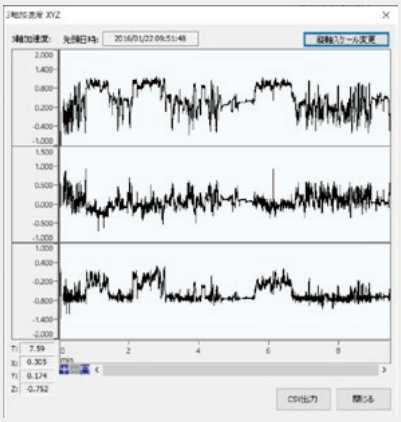

図5. X,Y,Z生波形データ

3-3. 温度

温度は 15℃幅を測定でき、温度幅の下限値として 10 ～ 30℃の任意の温度を指定する。例えば、下限値を 22℃とすると 37℃（22℃ +15℃）までの測定が可能である。尚、nano tag 本体内部にある温度センサーの測定値が、データを記録するタイミングで保持される。機器を埋め込む場所により測定温度に違いがあるため、深部体温を測定したいのであれば、腹腔内に埋め込んだ方がよいという報告がある。

4. 計測

4-1. 通信距離とタイマー機能

nano tag は、PC に接続されたソニー社製非接触 IC カードリーダー / ライター PaSoRi（以下カードリーダー）との近距離無線通信で制御する。通信距離は約 10mm 以内であり、nano tag のアンテナ面をカードリーダーに向けて通信しなくてはならない。そのため、体内に nano tag を留置した状態で計測の開始、終了等の制御を行う場合には、nano tag のアンテナ面が皮下から 10mm 以内にある必要がある。しかし、腹腔内など深部で計測する場合は、この状況

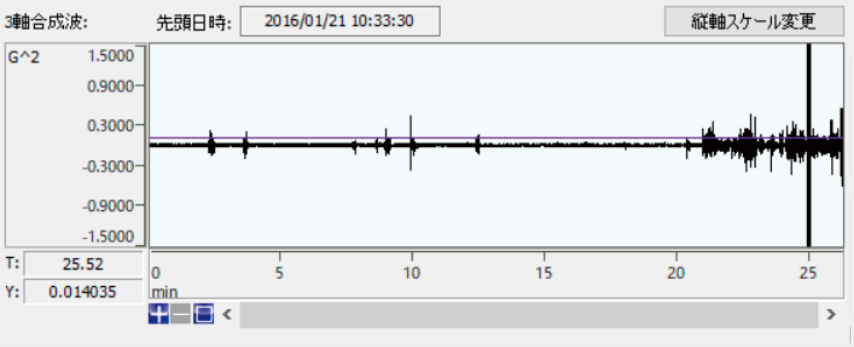

図6. 3軸合成波データ

を作れない。

そこで、nano tag の計測にはタイマー機能が搭載されている。予め計測の開始時刻と終了時刻をセットしてから体内に埋め込むことで、カードリーダーを近づけることなく自動的に計測の開始・終了が行われる。計測終了後に体内から nano tag を取り出しデータを PC に取り込むことが可能である。機器内に記録された計測データは、次の計測を開始するまで保持されている。尚、後述 4-2. 項に記載の稼働累計時間には、タイマー機能を使って計測開始するまでの待機時間も含まれる。

4-2. 電池寿命とメモリ容量

2 項に記載の通り、nano tag は完全防水化したために電池交換ができず使い捨てである。約 60 日稼働（計測・通信・予約待機時間の累計）できるように設計されている。ソフトウェア上で稼働累計時間を表示（図 7）し、稼働残日数を予測しながら実験計画を立てることができる。尚、温度のみの計測では更に省電力化されており、累計で 180 日稼働できる。但し、一般的な電池（CR1220）を使用しているため、保管状況や保管期間によっては機器設計通りの稼働日数にならない場合がある。

また、保存できる日数は本体の搭載メモリ容量に制限を受ける。例えば、1 分毎に運動量と温度を保存した場合には、20 日間でメモリが一杯になってしまう。実験内容から保存周期を適切に設定する必要がある。具体的な保存周期と保存日数の関係は 6 項を参照されたい。

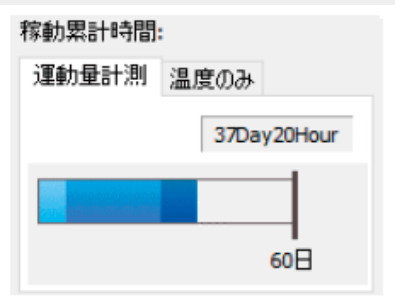

図7. 累計稼働時間の表示

5. 機器構成

●運動量 / 温度計測装置 nano tag
● nano tag ビューア―プログラム（制御ソフトウェア）
●パーソナルコンピュータ（Windows10/11 Pro、USB ポート 2 つ以上、内蔵 NFC ポート無）
●ソニー社製非接触 IC カードリーダー / ライター PaSoRi

7. 今後の発展性

今後、更なる小型・軽量化と稼働時間延長の検討を行っている。現行より小さな電池を搭載すれば小型・軽量化はできるが、稼働時間が短くなってしまう。そのため、計測装置の省電力化を進める必要があるがこれについても限界がある。

そこで、長期的な視点で電池に頼らない給電を検討している。それが実現した場合には、以下のような機器の利便性を確保できると考える。

●リアルタイムでのデータ通信を実現できる。
●より時間分解能の高いデータを、より長期間記録できる。
●より多くの種類のセンサーを搭載できる。
●リアルタイムでのデータ通信ができることで、体外での計測データと同期記録ができる。

（日動協ホームページ、LABIO21 カラーの資料の欄を参照）

6. 仕様

検出方法		3軸加速度センサー、温度センサー					
通信方法		近距離無線通信（FeliCa®方式 通信距離：約10mm）					
時計精度		月差±60秒					
内部電池		CR1220（電池交換は不可）					
電池寿命		約60日*（ご購入後1年以内　24時間計測で、通信1日1回2分以内）					
計測モード		1：ループ、2：メモリフルで停止、3：任意時刻指定					
運動量・温度データ	運動量	振動数					
	温度	10～45.875℃　計測温度幅15.875℃（分解能：0.0625℃、誤差：±0.5℃）					
	保存周期	12秒	30秒	1分	2分	4分	5分
	保存日数	4日	10日	20日	37日	60日	60日
3軸加速度データ		合成波：約27分、生値：約9分 約25Hz					
サイズ		18.8mm × 14.2mm × 7.1mm（固定用穴付き）					
重量		約2.7g					
材質		ABS樹脂、エポキシ系接着剤					

*温度のみを記録する場合には、約180日