

平成 22 年 6 月 9 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19740267

研究課題名 (和文) 超伝導回転地震計の開発

研究課題名 (英文) Development of a Rotational Seismometer Based on the 'Pinning Effect' of a Superconductor

研究代表者

高森 昭光 (TAKAMORI AKITERU)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：00372425

研究成果の概要 (和文)：

第 2 種高温超伝導体バルクに生じる「ピン止め効果」を応用して浮上支持した永久磁石を参照振子とした、地震の回転成分を測定する回転地震計の研究開発を行った。実際にプロトタイプ回転地震計を製作し、各種ノイズの評価や実験室内で実際の回転地震波の試験的観測を行った。実験期間の制約から長期にわたる実際の観測所での観測は実施できなかったが、実験室内での試験観測によってほぼ目標の分解能を達成したことを確認できた。

研究成果の概要 (英文)：

A rotational seismometer based on the 'pinning effect' of high Tc superconductive materials has been developed and prototyped in this study. The characteristics of the prototype seismometer, such as stability, resolution are studied and the test observation in the laboratory has been performed. Throughout these studies, it was confirmed that the aimed specifications of the instrument has been achieved and its ability to observe rotational seismic motion caused by near earthquakes has been demonstrated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	3,400,000	0	3,400,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	4,400,000	300,000	4,700,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：観測手法・磁気浮上・回転地震計

### 1. 研究開始当初の背景

1990年代頃から、地震波の回転成分を観測することによって、断層のすべり速度構造など震源過程に関する有益な情報が得られることが理論的に示され、回転地震計によるネットワーク観測の実現が期待されている。しかし、従来普及している回転センサーでは、分解能の制約により、実際に観測可能な地震は観測点近傍を震源とするものに限られていた。一方で、遠地地震を観測できるような高分解能を実現したリングレーザー型センサーはその複雑性や規模の大きさから、観測ネットワークを構築するほどの密度で展開することは困難であった。したがって、普及帯のセンサーより高分解能で、リングレーザー型センサーよりも容易な運用性を実現した回転センサーを開発することができれば、高分解能な観測ネットワークを構築することができ、震源過程の理解に有益だと考えられた。

### 2. 研究の目的

より多くの地震について、その地震波の回転成分を観測可能とするために、従来普及している回転センサー（回転地震計）より優れた分解能を有し、かつ面的展開（ネットワーク観測）も可能な実用的な回転地震計を開発することが本研究の目的である。これによって震源過程、断層構造に関する理解が深まるだけでなく、それらについて新しい知見が得られる可能性も期待される。

### 3. 研究の方法

新しく開発する回転地震計では、参照振子として、磁気浮上体を利用する。磁気浮上体を支持する手法として高温超電導体（セラミックス系第2種高温超電導体であるYBaCuO）の「ピン止め効果」を利用する。「ピン止め効果」とは、第2種高温超電導体に特有の性質であり、磁場中に配置した超電導体バルクを冷却して常伝導状態から超伝導状態に移行する際、バルク内に侵入した外部磁場をコピーするかのように取り込み、固定する効果である。このようにトラップされた磁場を利用すると、永久磁石を完全に受動的に（能動制御を行わずに）安定的に浮上支持することができる。また、超電導体と永久磁石の形

状・配置を適切に選択することによって、理想的には浮上体を回転軸周りに無定位な振子とすることができる。現実的には、磁石の磁場や超伝導体の非一様性などの制約が生じるため、有限ではあるが極めて長い固有周期を得ることができる。これは通常の地震計で長周期振子が有利なのと同様、回転地震計の参照振子として極めて有効な特性である。

浮上体の姿勢は非接触の光センサーで検出し、非接触型の電磁気アクチュエータによって適切な状態に制御をかける。この制御信号と振子の伝達特性から、地面の回転速度、すなわち地震波の回転成分を観測することができる。全体の構成を図1に示す。

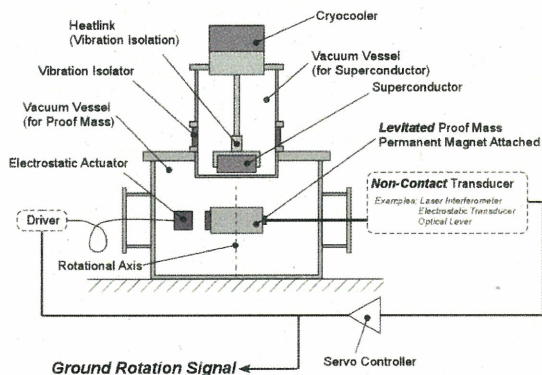


図1：磁気浮上型回転地震計の構成  
浮上体の位置を光センサー、非接触アクチュエータで検出および制御する。サーボ型地震計同様の原理で動作する。

### 4. 研究成果

本研究では、回転地震計を設計するための基礎的データを収集する目的で、まず超伝導体の「ピン止め効果」によって浮上支持された永久磁石の力学特性の評価を行った。その結果、到達固有周期は30秒以上、エネルギー損失もほぼ問題にならないレベルであることが確認できた。さらに、超伝導体バルクを冷却するための冷凍機の振動の影響を評価した。本研究の特色として、振動の少ないパルス管冷凍機を用いた。これは冷凍機自身が発する振動によって振子の回転が励起されて雑音となる効果を抑制するためである。その上で、冷凍機とバルクの間を柔軟なヒートリンクで接続して更に振動の伝達を防止することにした結果、冷凍機を動作させたま

までも、ほとんどの帯域で地震計の雑音としては無視できることがわかった。ただしパルス周波数とその倍波の周波数では冷凍機の振動が観測の妨げとなることも判明した。したがって、これらの周波数での観測を行う際には一時的に冷凍機を停止して観測を行うことにした。これら一連の基礎実験とあわせて、特に高度な軸対称性を持たせる工夫をした浮上体の設計を行い、回転地震計のプロトタイプを開発・製作した。プロトタイプ地震計を用いた空気中での実験の様子を図2に示す。

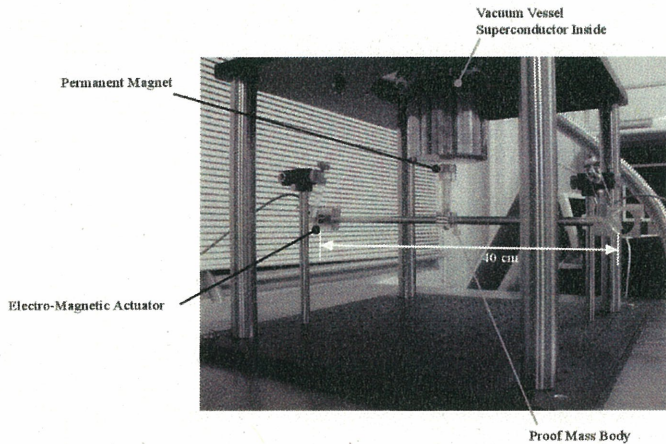


図2：プロトタイプ回転地震計

逆T字型の構造が参照振子となる浮上体。超伝導バルクは上部の真空槽内に收容されており、その上部のパルス管冷凍機に接続されている。

また、プロトタイプ地震計を用いて、地面振動の並進成分とのカップリング、空気の影響などといった基礎的データを収集し、適宜改良を施してこれらの影響を低減させた。

そのうえで、実際に地面振動の回転成分の試験観測を行った。プロトタイプ地震計では、防振されたパルス管冷凍機によって超伝導体バルクを冷却し、これによって得られる「ピン止め効果」を利用して永久磁石を取り付けた参照振り子を磁気浮上支持している。また、その鉛直軸周りの地面との相対回転角度を、光てこ、反射式光位置センサーおよびレーザー干渉計で検出した。この信号を適切なサーボフィルターで処理した後、電磁気アクチュエータにフィードバックすることによって、一定の回転角度を保つように制御した。この制御信号と既知の振子の伝達特性を演算処理することによって、地面振動の回転成分を観測することができる。このようにして実際に実験室で観測された地面振動の回転スペクトルを図3に示す。この結果から、従来のセンサーで得られる典型値と近い回転角が観測されたことがわかる。また、主に低周波で空気の影響があることも確認でき

た。これらの結果から、プロトタイプが回転地震計として機能すること、予想される近傍地震からの回転振動を検出するのに十分な分解能を有していることなどを実証することに成功した。これによって、この手法が回転地震計の製作に有効であることは明らかである。また、改良を加えることによってより高い分解能を実現できれば、将来的に回転地震計による観測ネットワークを構築することができる」と期待される。

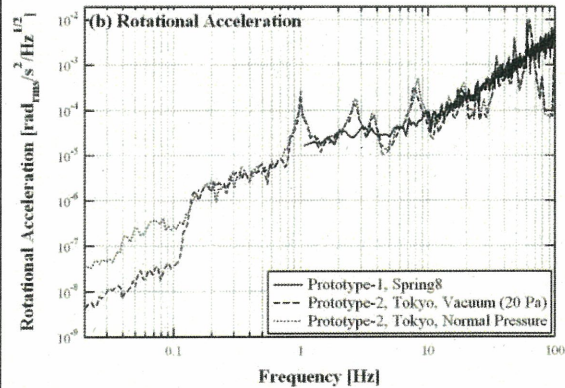


図3：プロトタイプ地震計によって観測された回転地面振動のスペクトル

太い破線は地震計を真空中（20 Pa）に置いたとき。細い破線は大気中。実線は他の方式で観測した例（参考値）

## 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 Takamori, A., A. Araya, Y. Otake, K. Ishidoshiro, and M. Ando, Research and Development Status of a New Rotational Seismometer Based on the Flux Pinning Effect of a Superconductor, Bull. Seism. Soc. Am., 査読有, 2B, 1174-1180, 2009.

〔学会発表〕（計1件）

- ① Takamori, A., A Rotational Seismometer Utilizing the Flux Pinning Effect of a Superconductor, USGS 1st International Workshop on Rotational Seismology and Engineering Applications, 2007年9月18, 19日, メンローパーク (米国).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高森 昭光 (TAKAMORI AKITERU)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：00372425