

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：16401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23740340

研究課題名(和文)古地磁気強度データベース刷新のためのマイクロ波着磁/消磁システムの実用化

研究課題名(英文)Further development of the microwave demagnetization and magnetization system

## 研究代表者

山本 裕二 (YAMAMOTO, YUJJI)

高知大学・自然科学系・助教

研究者番号：00452699

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：18 GHz 帯を利用するマイクロ波消磁システムの製作をすすめた。根幹をなす固体パワーアンプの導入においては、次善の策として 10 Wアンプを導入するに留まった。本システムには3 mm 径かつ高さ 1-2 mm の円盤状試料を利用する。信号発生器からの発生マイクロ波の制御と、そのマイクロ波の入力・反射強度をモニターするためのソフトを LabView により開発した。最終試験の結果、本システムでは試料が当初保持している残留磁化の約 60 パーセントが消磁可能であることが判明した。今後は50 Wアンプを導入することで、100 パーセントの消磁が可能システムに改良しうることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a demagnetization system using 18 GHz microwaves. Initially the system was planned to be implemented with a 50 W solid state power amplifier (SSPA) but we could only implement a 10 W SSPA due to a limitation of the cost. The system uses a disc-shaped mini rock sample with a diameter of 3 mm and a thickness of 1-2 mm. To control input microwaves and monitor input and diffracted powers, a software was developed using LabView. Final tests revealed that about 60 percent of the initial remanent magnetization of a sample could be demagnetized using the system. It is expected that a complete demagnetization will be possible if the system will be implemented with a 50 W SSPA in future.

研究分野：古地磁気学

キーワード：固体地球物理学 地球電磁気学 磁性 マイクロ波

### 1. 研究開始当初の背景

地球史 46 億年にわたる地球システム進化を考えると、とくに外核の進化を探るうえで、地球磁場の時間変遷の情報は重要な情報源となる。様々な困難はあるが、古地磁気学的手法を用いれば、とくに、過去に形成された火山岩から当時の地磁気強度絶対値(絶対古地磁気強度)を推定することができる。これまで絶対古地磁気強度の測定においては「テリ工法」が最も信頼性が高いとされ、広く用いられてきた。しかし、近年、テリ工法による測定地磁気強度が真の地磁気強度に一致せず、しかも多くの場合で真値よりも強い地磁気強度を示すという例が相次いで報告されている ( e.g. Yamamoto et al., 2007; Yamamoto and Hoshi, 2008 )。

近年、研究代表者を含む研究グループは「テリ工法」に代わる新しい絶対古地磁気強度測定法として「低温消磁 2 回加熱ショー法」(Tsunakawa and Shaw, 1994; Yamamoto et al., 2003)を開発した。今後は、この新方法の適用により既存の古地磁気強度データベースを刷新し、地球史 46 億年にわたる地磁気強度の時間変遷を解明することが急務である。しかし、この新方法の適用は過去数百万年程度よりも地質年代の古い火山岩試料には向かないことが多く、古地磁気強度データベース刷新の障壁となっている。試料全体を実験室内で通常加熱する方法では、多くの場合で岩石磁気特性が大きく変化してしまうと推測され、実質的に試料が使い物にならなくなってしまうからである。

この問題点を解決する切り札として“マイクロ波加熱法”がある。特定の周波数に調節することにより試料の磁化を担う磁性鉱物のみを選択的に加熱することが可能であるため、試料全体としての岩石磁気特性がほぼ不変のまま保たれると考えられるからである。研究代表者は、新方法の適用に最適化した“世界で唯一”となるマイクロ波着磁 / 消磁システムを国内で実用化すべく、平成 21-22 年度科研費若手研究 B「古地球磁場強度測定のためのマイクロ波着磁 / 消磁システムの設計・製作」として研究を開始した。基本回路部分の設計がほぼ完了し、17.3-18.1 GHz 帯を利用する仮システムを組み上げることができた。

### 2. 研究の目的

仮システムの状態に留まっているマイクロ波着磁 / 消磁システムの製作をさらに進め、実用化の段階まで到達させることを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 試料位置を精密に制御可能な試料取付機構の設計・製作・調整を行い、さらに、17.3-18.1GHz 帯において最適な共振カーブを得るための試験・調整に取り組む。

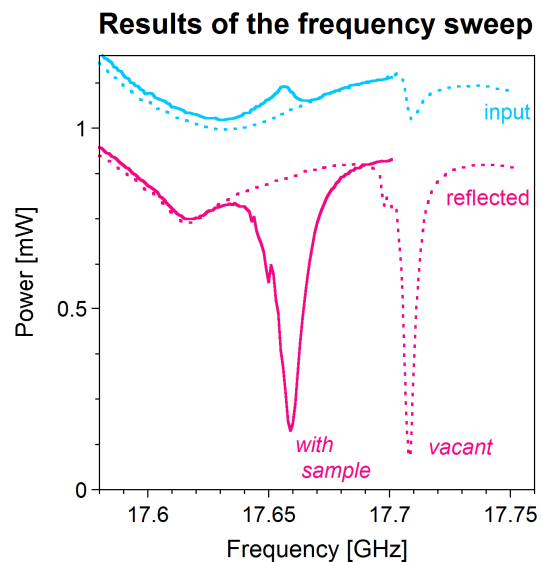
(2) 火山岩試料の完全消磁 / 着磁を目指し、17.3 ~ 18.1 GHz 帯のマイクロ波を増幅可能な信号増幅器 (マイクロ波パワーアンプ) を導入して試験・調整を行う。増幅器の出力は、導入時点での予算と価格性能比の折り合いで決定する。

(3) 上記(1)(2)を実施するための制御ソフトを開発する。

### 4. 研究成果

(1) 試料の移動軸とマイクロ波導波管系の軸を一致させた架台を製作したうえで、サブミクロンの精度で軸方向の移動が可能な XY ステージを導入した。ステージには中空石英管を取り付け、さらにシリコンチューブで小型真空ポンプと連結し、ポンプ吸引によって石英管先端に 数 mm x 長さ 1-2 mm の円盤状の小岩石試料を着脱可能な仕組みとした。

通常の古地磁気測定用 1 インチ径火山岩試料から 3, 4, 5 mm 径かつ高さ 1-2 mm の円盤状試料を切り出し、マイクロ波共振カーブの測定実験を行った。繰り返し実験の結果、4 mm 径および 5 mm 径の試料ではマイクロ波の吸収が鈍いのに対し、3 mm 径の試料では効率よくマイクロ波が吸収されることが判明した(図 1)。システムに利用する試料サイズとしては 3 mm 径が最適であると結論した。



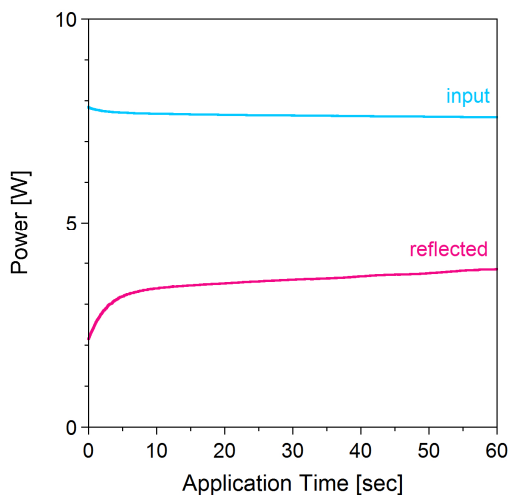
[図 1] マイクロ波共振カーブ測定実験の結果。青色は入力マイクロ波強度、赤色は反射マイクロ波強度を示す。実線は 3 mm 径試料

の測定結果、点線は試料なしでの測定結果を示す。

(2) 研究計画開始当初は 50 W にまで入力マイクロ波強度を増幅可能な固体パワーアンプの導入を目指したが、予算と価格性能比とを検討した結果、次善の策として 10 W にまで増幅可能なアンプを導入することとした。

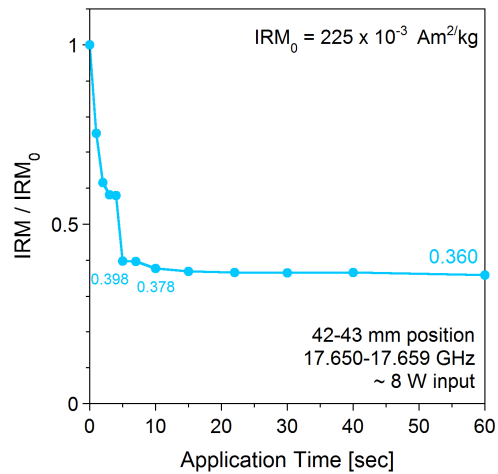
アイスランド玄武岩の 3 mm 径試料を準備し、この試料に対して 2.5 T の印加磁場により飽和等温残留磁化(SIRM)を着磁して、その後に SIRM をマイクロ波により段階的に消磁・測定する実験を行った。マイクロ波を作用させる時間は 1 秒から 60 秒へと段階的に増加させた。マイクロ波の作用中は、入力強度は一定して 7.5 W 程度であるのに対し、反射強度は作用時間 5 秒までに急速に増加し、その後は緩やかに増加して 3.5 W 程度へと漸近していく様子が見られた(図 2)。この様子と同調して、SIRM は作用時間 5 秒までに約 60 パーセントが消磁されたが、その後作用時間を 60 秒まで増加させても約 64 パーセントが消磁されるまでに留まった(図 3)。今後、マイクロ波技術の革新が進んで 50 W にまで増幅可能なアンプを導入することができれば、100 パーセントの消磁が可能なシステムに改良しうることが期待される。

Input and reflected power, MA32-02-1



[図 2] アイスランド玄武岩 3 mm 径試料に段階的に 1 秒から 60 秒までマイクロ波を作用させた際の入力・反射マイクロ波強度の変化の様子。青色は入力マイクロ波強度、赤色は反射マイクロ波強度を示す。

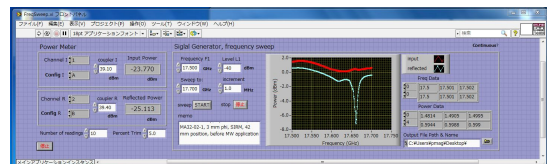
MW demagnetization on SIRM, MA32-02-1



[図 3] アイスランド玄武岩 3 mm 径試料の SIRM のマイクロ波消磁の様子。段階的に 1 秒から 60 秒までマイクロ波を作用させた後の残留磁化強度測定結果を、初期値を 1 として示している。

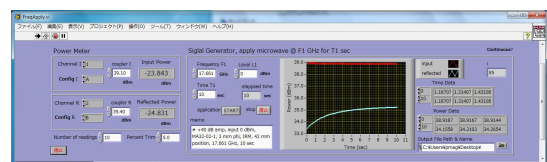
(3) 信号発生器からの入力マイクロ波の制御と、入力したマイクロ波の入力・反射強度をモニターするためのソフトを LabView を利用して開発した。ソフトは 2 つの目的に分けて開発した。

共振器に試料を設置しない状況では 17.7 GHz 前後が共振周波数となり鋭い吸収のピークが見られるが、試料を設置するとその岩石磁気特性などに応じて共振周波数が低下するため、マイクロ波着磁 / 消磁のためには試料ごとに最適な共振周波数を見いだす操作が必要となる。入力マイクロ波の周波数を変化させて、そのマイクロ波の入力・反射強度をモニターするソフトを開発した(図 4)。



[図 4] 開発したソフトの画面。

試料の消磁 / 着磁は、により試料ごとに決定した最適共振周波数のマイクロ波を一定時間作用させることで行う。入力マイクロ波の周波数を固定する一方、作用時間を変化させ、その間のマイクロ波の入力・反射強度をモニターできるソフトを開発した(図 5)。



[図 5] 開発したソフトの画面。

## 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3件)

Yamamoto, Y., Torii, M., and Natsuhara, N., Archeointensity study on baked clay samples taken from the reconstructed ancient kiln: implication for validity of the Tsunakawa-Shaw paleointensity method, Earth Planets Space, 67, 63, 2015, doi:10.1186/s40623-015-0229-8. [査読有]

Mochizuki, N., Maruuchi, T., Yamamoto, Y., and Shibuya, H, Multi-level consistency tests in paleointensity determinations from the welded tuffs of the Aso pyroclastic-flow deposits. Phys. Earth Planet. Inter., 223, 40-54, 2013. [査読有]

Paterson, G.A., Biggin, A.J., Yamamoto, Y., and Pan, Y. Towards the robust selection of Thellier-type paleointensity data: The influence of experimental noise. Geochem. Geophys. Geosyst., 13, Q05Z43, doi:10.1029/2012GC004046, 2012. [査読有]

[学会発表](計3件)

山本 裕二, 夏原 信義, 鳥居 雅之, 中島 正志「須恵実験窯から採取した窯土試料の古地磁気強度実験」日本地球惑星科学連合2012年大会, 2012年5月25日, 幕張メッセ(千葉県).

Yuhji Yamamoto and Tadahiro Hatakeyama, Geomagnetic field intensity inferred from 3-6 Ma lava sequences in Sudurdalur area, Iceland, American Geophysical Union 2012 Fall Meeting, 2012年12月3日, サンフランシスコ(アメリカ)

Yamamoto, Y., Torii, M., Natsuhara, N., Nakajima, T., Tsunakawa-Shaw paleointensity experiments on baked clay samples taken from the reconstructed ancient kiln, International Association of Geomagnetism and Aeronomy the XIIth Scientific Assembly, 2013年8月26-31日, メリダ(メキシコ)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

山本 裕二 (YAMAMOTO YUHJI)  
高知大学・教育研究部自然科学系・助教  
研究者番号: 00452699

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし