

R004-14

Zoom meeting A : 11/4 PM1 (13:45-15:30)  
14:30-14:45

## 炆器中の $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (luogufengite)

#福岡 浩司<sup>1)</sup>, 大賀 正博<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>同志社大・理工,<sup>2)</sup>同志社大・工

### $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (luogufengite) in sekki potteries

#Koji Fukuma<sup>1)</sup>, Masahiro Ooga<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. Env. Sys. Sci., Doshisha Univ.,<sup>2)</sup>Environmental Science, Doshisha Univ.

A variety of fired archeomagnetic materials have been known to contain high coercivity, stable and low unblocking temperature (HCSLT) magnetization in addition to characteristic magnetization carried by magnetite. Recently  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was confirmed to carry the HCSLT magnetization of potteries and found in nature to be called luogufengite. Sekki potteries, which were produced at many sites in medieval Japan, were fired at high temperature around 1000°C in oxidative condition. HCSLT magnetization carried by  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (luogufengite) is ubiquitous in sekki potteries in contrast to sueki potteries fired in reduced condition.

We have studied 82 pottery sherds (72 sekki and 10 sueki) excavated at Doshisha University campus in downtown Kyoto. These pottery sherds were produced from 12th to 18th century at a variety of production sites in western Japan and then transported to Kyoto. For all the sherds we applied hysteresis measurements with a maximum field of 1 T, thermomagnetic analyses with 0.3 T and Thellier measurements. 78 percent of Sekki potteries exhibited highly constricted (wasp-waisted) hysteresis loops but no constricted loop was found for sueki potteries. Low unblocking temperature (100-200°C) components are common in sekki potteries along with high temperature (>500°C) components of magnetite. Low Curie temperature (T<sub>c</sub>) of 210°C is an unambiguous signature to identify  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. However, only 15 percent of sekki potteries showed T<sub>c</sub> around 200°C through thermomagnetic analyses and lower T<sub>c</sub> down to 140°C were found for another 19 percent of sekki potteries.

To obtain further evidences of  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, we performed 5 T hysteresis measurements, IRM acquisition up to 5 T and its DC demagnetization, low-temperature hysteresis measurement, thermal demagnetization of 2-axis IRM (0.4 and 5 T) and progressive cycling of thermomagnetic analyses for several selected sekki sherds. 2 or 3 T was required for saturating magnetization at room temperature. Temperature dependence of coercivity showed a broad peak at about 200 K as indicated for synthetic  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. IRM imparted at 0.4-5 T have low unblocking temperature from 140 to 210°C in accordance with variable T<sub>c</sub> of sherds. Therefore lower T<sub>c</sub> of sekki potteries compared to synthetic  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> can be attributed to impurity (e.g., Ti) in  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as for magnetite. It is concluded that  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with variable content of impurity is prevailing in sekki potteries. Progressive cycling of thermomagnetic analyses exhibited magnetization enhancement after heating in air.  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is an end product of oxidation. Therefore laboratory heating induces magnetization enhancement and possibly contaminates characteristic magnetization carried by magnetite.

陶器などさまざまな加熱された考古遺物には、磁鉄鉱によって担われた特徴的な磁化に加えて、高い保磁力で、安定した、低いアンブロック温度(HCSLT)をもつ磁化が含まれていることが知られています。最近、 $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が HCSLT の磁化を担っていることが確認され、自然界でも  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が発見され新たな磁性鉱物 luogufengite と認められました。中世の日本各地で生産された炆器は酸化状態で 1000°C 程度の高温で焼成された陶器です。 $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (luogufengite) によって担われた HCSLT の磁化は、還元状態で焼成された須恵器とは対照的に、炆器に頻繁に見いだされます。

京都の中心部の同志社大学キャンパスで発掘された 82 個の陶器のかけら (72 個の炆器と 10 個の須恵器) を調べました。これらの陶器は 12 世紀から 18 世紀にかけて西日本のさまざまな生産地で焼成され京都に運ばれたものです。すべての陶器のかけらに、最大磁場 1 T のヒステリシス測定、0.3 T での熱磁気分析、およびテリエ測定を適用しました。炆器の 78% は非常にくびれた (wasp-waisted) ヒステリシスループを示しましたが、須恵器ではくびれたループは見つかりませんでした。磁鉄鉱の高温 (> 500°C) 成分とともに、炆器ではアンブロック温度の低い (100~200°C) 成分が一般的にみられます。210°C の低いキュリー温度 (T<sub>c</sub>) は  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を識別するための明確な特徴ですが、15 パーセントの炆器のみが熱磁気分析により約 200°C の T<sub>c</sub> を示し、さらに 19 パーセントの炆器で 140°C までの低い T<sub>c</sub> が見つかりました。

$\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のさらなる証拠を得るために、最大磁場 5 T のヒステリシス測定、5 T までの IRM 獲得、およびその DC 消磁、低温ヒステリシス測定、2 軸 IRM の熱消磁 (0.4 および 5 T) および熱磁気分析の漸進的サイクリングをいくつかの選択された陶器のかけらに適用しました。室温で磁化を飽和させるには 2~3 T が必要でした。保磁力の温度依存性は、合成  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> で示されているように、約 200 K で幅広いピークを示しました。0.4-5 T で付与された IRM は炆器の様々な T<sub>c</sub> に応じて 140~210°C の低いアンブロック温度を示しました。したがって、合成  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と比較して炆器の T<sub>c</sub> が低いのは、磁鉄鉱の場合と同様に、 $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中の Ti などの不純物が原因だと考えられます。炆器では不純物を含む  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が普遍的に存在すると結論づけられます。また、熱磁気分析のサイクリングは空気中での加熱後に磁化の増加を示しました。 $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は酸化の最終生成物です。したがって、実験室の加熱は磁化の増加を伴い、磁鉄鉱によって担われた特徴的な磁化を汚染する可能性があります。