

# Al-Ti-Mg 三元系における超伝導状態探索 ～機械学習による“探索指針の提案”と “超伝導組成の予測”～

杵谷成道\*      唐永鵬\*\*      美藤正樹\*\*\*  
 松本要\*\*\*\*      村山光宏\*\*\*\*\*      堀田善治\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

電子の波動関数の位相がマクロスケールで揃う超伝導状態はマクロな量子効果と言われ、ゼロ電気抵抗、完全反磁性、ジョセフソン効果という三つの機能を発現する。超伝導状態は社会構造を変革する可能性を有する物理現象であり、すでに医療系磁気共鳴画像装置(MRI)に超伝導磁石が使用されていることは周知の事実である<sup>(1)</sup>。超伝導体の応用を考えたとき、線材化の可能性と“high- $T_c$ (高い超伝導転移温度) & 微細組織制御による high- $J_c$ (高い超伝導電流密度)”の実現が問われる。また、インフラストラクチャーにおける線材応用を考えたとき、ユビキタスやエコフレンドリーの面から、さらには低価格の面から、軽金属製の超伝導線材は魅力的である。本研究は、機械学習と高圧ねじり加工を用いて、軽金属をベースとする超伝導材料の未踏領域探索を目指すものであり、本稿ではその最新の成果の一部を紹介する<sup>(2)</sup>。

軽金属分野における代表的な三元素が、Al, Ti, Mg であることは周知のとおりである。Al と Ti はそれぞれ、常圧下で 1.20 K ならびに 0.39 K の極低温下で超伝導状態に相転移するが<sup>(3)</sup>、Mg は常圧下だけでなく高圧力場でも超伝導状態に

転移しない。つまり、この三元系での high- $T_c$  達成は容易に想像できるものではない。表 1 に Al-Ti 二元系, Al-Mg 二元系さらに Ti 酸化物の超伝導体の歴史をまとめた<sup>(2)</sup>。

表 1 Al, Al-Ti 系, Al-Mg 系, Ti, Ti 酸化物, Mg-Ti 酸化物の超伝導転移温度.

組成式	$T_c / K$	参考文献	年代
Al	1.20	3	1963
Al <sub>3</sub> Ti	1.02	3	1963
Al <sub>0.029</sub> Ti <sub>0.971</sub>	0.65	4	2000
Al <sub>0.053</sub> Ti <sub>0.947</sub>	0.70	4	2000
Al <sub>0.102</sub> Ti <sub>0.898</sub>	0.73	4	2000
Al <sub>0.28</sub> Mg <sub>0.18</sub>	0.84	6	1974
Al <sub>0.39</sub> Mg <sub>0.61</sub>	1.5	6	1974
Al <sub>0.6</sub> Mg <sub>0.4</sub>	1.7	8	1973
Al <sub>0.61</sub> Mg <sub>0.39</sub>	0.84	6	1974
AlMg	0.84	5	1973
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	0.84	3	1963
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	0.87	7	2007
Ti	0.39	3	1963
TiO	2.3	9	1968
TiO <sub>1.07</sub>	1.0	10	1972
TiO <sub>1.06</sub>	0.54	10	1972
TiO <sub>0.95</sub>	0.80	10	1972
TiO	0.64	10	1972
TiO	1.06	11	1972
TiO <sub>0.92</sub>	0.72	11	1972
TiO <sub>0.86</sub>	0.47	11	1972
TiO <sub>0.91</sub>	0.70	11	1972
TiO	7.4	12	2017
γ-Ti <sub>3</sub> O <sub>5</sub>	7.1	13	2017
Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	3.0	13	2017
Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	2.32	14	2019
MgTi <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	4.5	15	2020

\* 九州工業大学大学院工学府；大学院生(博士前期課程 2 年)(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

\*\* 九州工業大学大学院工学府；研究員

\*\*\* 九州工業大学大学院工学府基礎科学研究系；教授

\*\*\*\* 九州工業大学大学院工学府物質工学研究系；教授

\*\*\*\*\* 九州大学先端物質科学研究所；教授

\*\*\*\*\* 九州工業大学大学院工学府基礎科学研究系；特任教授

Exploration of Superconductivity in Three-elements Light Metal System

~Proposing Exploration Strategy and Assuming Superconducting Components by Machine Learning~; Narimichi Mokutani\*, Yongpeng Tang\*, Masaki Mito\*, Kaname Matsumoto\*, Mitsuhiro Murayama\*\*, Zenji Horita\*(\*Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu. \*\*Institute of Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University, Kasuga)

Keywords: *superconductivity, light metals, machine learning, high-pressure torsion, quasi-stable states*

2022年 7 月 20 日受理[doi:10.2320/materia.61.870]