

## 新規機能性材料の圧力効果に対する微視的研究

Microscopic study for the effect of pressure in new smart materials

掛下知行<sup>1)</sup> 福田 隆<sup>1)</sup> 寺井智之<sup>1)</sup> 串田悠彰<sup>1)</sup> 山下真吾<sup>1)</sup> 榎野寛之<sup>1)</sup> 長壁豊隆<sup>2)</sup>

Tomoyuki KAKESHITAT akashi FUKUDA Tomoyuki TERAJ Hiroaki KUSHIDA Shingo YAMSHITA Hiroyuki KAYANO Toyotaka OSAKABE

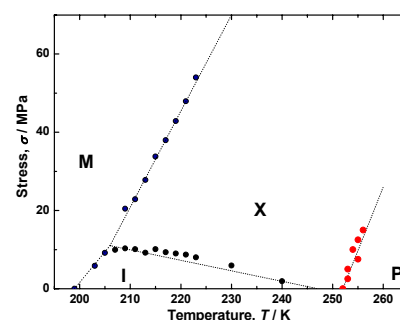
<sup>1)</sup>大阪大学 <sup>2)</sup>原子力機構

新規機能性材料(強磁性形状記憶合金  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$ )の一軸応力下における単結晶の中性子回折を行い、一軸応力誘起 X 相の結晶構造解析を行った。

キーワード：強磁性形状記憶合金、磁歪、応力誘起マルテンサイト、バリエント、ホイスラー合金

## 1. 目的

近年、強磁性形状記憶合金  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  において数%にも及ぶ巨大歪が見出され<sup>[1]</sup>、この現象を利用したセンサーおよびアクチュエータなどへの応用が期待されている。この合金は 360K 付近にキュリー温度を持つ合金であり、約 250K でホイスラー (L2<sub>1</sub>型) 構造の母相 (P 相) から中間相 (I 相) へと変態し、さらに約 200K において 10M と呼ばれる構造へとマルテンサイト変態 (無拡散の構造相変態) する。この  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  合金の I 相あるいは P 相に一軸応力を負荷すると、これまでに報告されていない新しい相 (X 相) が生成していることを見出した (図 1)<sup>[2]</sup>。しかしながら、この相の

図 1  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  の一軸応力下の相図

結晶構造を決定するためには、約 1cm 角の単結晶試料を圧縮しながらその試料を透過したビームの回折強度を測定する必要があり、放射光施設の既存のビームラインでは十分な測定を行うことが出来ない。本研究では、一軸応力を負荷しながら透過力の高い中性子を用いて回折測定を行うことが出来る JRR-3 の三軸型中性子分光器(2G)を用いて測定を行い、上述した一軸応力下で生成する新規な結晶構造を明確にすることを目的とした。

## 2. 方法

$\text{Ni}_2\text{MnGa}$  単結晶に 210K から 250K の間において、母相の  $[001]_p$  方向 (P は母相を示す) に一軸応力を負荷しながらに沿って回折強度を測定し、応力および温度との関係を調べた。

## 3. 研究成果

$T = 225 \text{ K}$  において  $[001]_p$  方向に  $P = 12 \text{ MPa}$  の応力を負荷しながら  $h 2-h 0$  方向 (I 相、X 相の長周期方向) にスキャンを行うと、 $h=0.35$  および  $1.65$  付近の非整合な位置に衛星反射が現れた。図 2 に  $h=0.35$  近傍の衛星反射を示す。このピーク位置は大気圧下において現れる I 相のものとは異なっており、X 相の結晶構造が I 相のものとは異なることわかる。さらに、圧力が増加すると  $P = 25 \text{ MPa}$  においては X 相と 10M マルテンサイト相に起因する衛星反射が異なった位置にそれぞれ現れる。これらのことから、X 相は I 相およびマ

ルテンサイト相とは異なる構造を持っていることが確かめられた。さらに、図3および図4に示すようにこれらの衛星反射の温度および圧力依存性を調べると、X相の衛星反射は温度が高くなり応力が低くなるにつれて、反射位置  $h\ 2-h\ 0$  の  $h$  が小さくなり、反射強度が減少することがわかった。

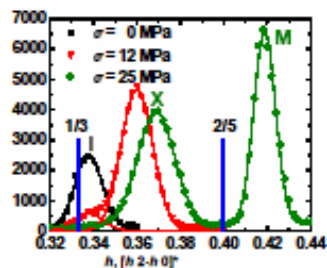


図2 225Kにおける各相の衛星反射の強度の圧力依存性

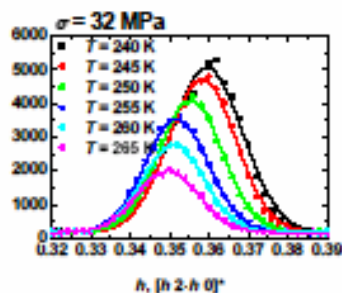


図3 一定応力下におけるX相の衛星反射の温度依存性

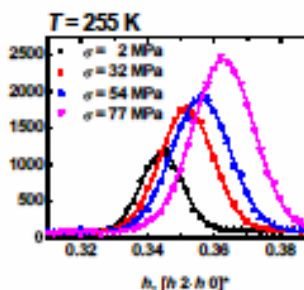


図4 一定温度におけるX相の衛星反射の圧力依存性

#### 4. 結論・考察

上述したように、 $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  単結晶は一軸応力の負荷により新たな相が誘起されることが帯磁率測定、圧縮試験および光学顕微鏡観察などにより明らかにされていたが、この新たな相(X相)が結晶学的に完全に異なるそうであるか否かについては明らかにされていなかった。今回の研究により、この相が他の相(母相、I相、X相)とは異なる結晶構造を持ち、I相からX相およびX相からマルテンサイト相へ一次の相変態をすることが明かにされた。さらに、衛星反射強度が温度および圧力に大きく依存することから、X相の結晶構造の積層周期および原子変位が温度および圧力により大きく変化していると考えられる。このX相の結晶構造の積層周期および原子変位を明確にすることは今後の課題である。

#### 5. 引用(参照)文献等

- [1] K. Ullakko *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **69**, 1966,1966.
- [2] J. H. Kim, T. Fukuda and T. Kakeshita, *Scripta Mater.* **54**, 585, 2006.