

# News Release

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

高効率モーター用磁性材料技術研究組合

株式会社デンソー

国立大学法人東北大学

国立大学法人筑波大学

2017.10.18

## FeNi 超格子磁石材料の高純度合成に世界で初めて成功 —高性能レアアースフリー磁石の実用化に大きく前進—

NEDOプロジェクトにおいて、(株)デンソーを主体とする東北大学、筑波大学の産学連携グループは、鉄とニッケルが原子レベルで規則配列したFeNi超格子磁石材料の高純度合成に世界で初めて成功しました。

FeNi超格子磁石は、高い磁石性能を期待されており、今回の成果は高性能レアアースフリー磁石の実用化を大きく前進させるものです。

今後は、FeNi超格子磁石材料のモーター用永久磁石への適用を目指して、高い性能を引き出す材料形状や成形法を検討していきます。

本研究成果の詳細は、2017年10月16日に英国の科学雑誌Scientific Reportsに掲載されました。

### 1. 概要

現在、日本における総消費電力の過半は、モーターが占めています。加えて、自動車の電動化に伴い、今後モーター需要の拡大が予想されています。そのため、中長期的なエネルギー需給戦略において、モーターの省エネ化は最重要課題の一つとなっています。

モーターの効率は磁石や鉄心(軟磁性材料)などの磁性材料に大きく依存しますが、NEDOプロジェクト<sup>※1</sup>において、高効率モーター用磁性材料技術研究組合(以下、MagHEM)では、供給リスクの高い重希土類元素(主にジスプロシウム)、さらには希土類元素(主にネオジウム)を使用しない革新的高性能磁石の開発に取り組んでいます。

鉄とニッケルが原子レベルで規則配列したL1<sub>0</sub>型の規則合金であるFeNi超格子<sup>※2</sup>は、1960年代に鉄隕石中から発見され、レアアースフリーでありながら高い磁石性能を持つことが予測されています。

MagHEMの組合員である(株)デンソー 先端技術研究所が主体となって、東北大学 金属材料研究所と構造解析を、筑波大学 数理物質系と合成方法の開発を行う産学連携グループにおいて、50年以上に渡って誰も成し得なかったFeNi超格子磁石材料の高純度合成に世界で初めて成功しました。今回、新たに開発した合成方法は、ガスとの反応を用いたシンプルなプロセスで工業的な生産に適していることに加えて、磁石材料に求められる単一相で粉末形状のFeNi超格子を得ることができます。この成果は、希土類元素を全く使用しない高性能レアアースフリー磁石の実用化を大きく前進させるものです。今後は、FeNi超格子磁石材料のモーター用永久磁石への適用を目指して、高い性能を引き出す材料形状や成形法を検討していきます。

本研究成果の詳細は、2017年10月16日に英国の科学雑誌Scientific Reportsに掲載されました(DOI: 10.1038/s41598-017-13562-2)。

## 2. 今回の成果

### 【1】FeNi超格子磁石の合成方法

一般的に規則合金は、ランダム合金を熱処理し、原子を拡散させることで得られます。FeNi 超格子の場合、規則化するための熱処理温度が 320°C以下と低く、規則化には 10 億年以上と天文学的な時間を要します。これまでに、拡散を促進するアプローチとして、中性子照射、高圧ひずみ加工、アモルファス金属のナノ結晶化などが提案されてきましたが、規則度が低い、もしくは、含有率が低いといった課題が残されていました。

これを達成するために、規則化した安定中間物を經由した規則合金形成プロセスである NITE (Nitrogen Insertion and Topotactic Extraction) 法を新たに考案しました。NITE 法(図 1)では、原料である (a) FeNi ランダム合金の粉末を窒化することで、規則化した (b) FeNi 窒化物を合成し、その後、規則構造を壊すことなく窒素原子を引き抜くトポタクティック脱窒素により、短時間で高い規則度の (c) FeNi 超格子を得ることができます。具体的には、窒化はアンモニアガスとの反応、トポタクティック脱窒素は水素ガスとの反応によって行います。これらは非常にシンプルなプロセスであることから、工業的な生産に適しています。

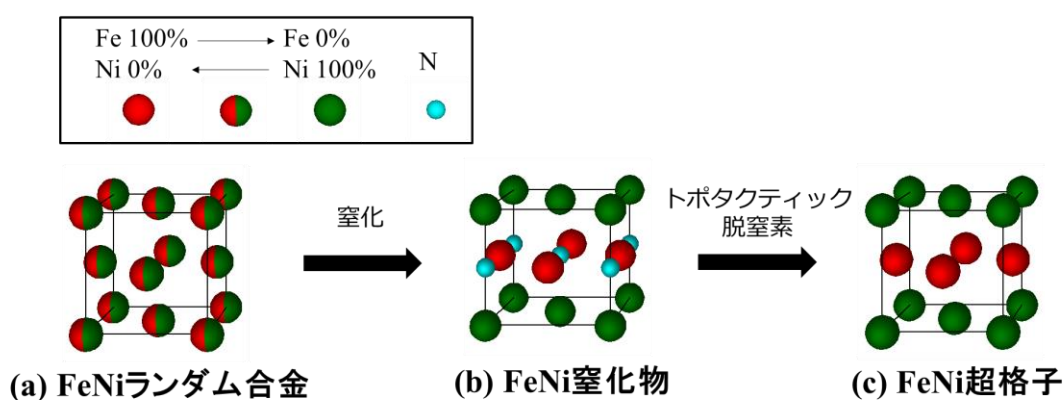


図1 NITE法によるFeNi超格子の合成スキーム

### 【2】合成したFeNi超格子の構造

NITE 法で得られた粉末試料の X 線構造解析結果(図 2、なお左側は 25° ~45° を 50 倍に拡大)、トポタクティック脱窒素後の試料の STEM-EDX 像<sup>※3</sup> から、Fe と Ni が原子レベルで規則的に配列していることが明らかになり(図 3)、FeNi 超格子の合成に成功したことが確認されました。また、中間物である FeNi 窒化物が単一相で得られていることから、FeNi 超格子も単一相で得られているものと考えられます。

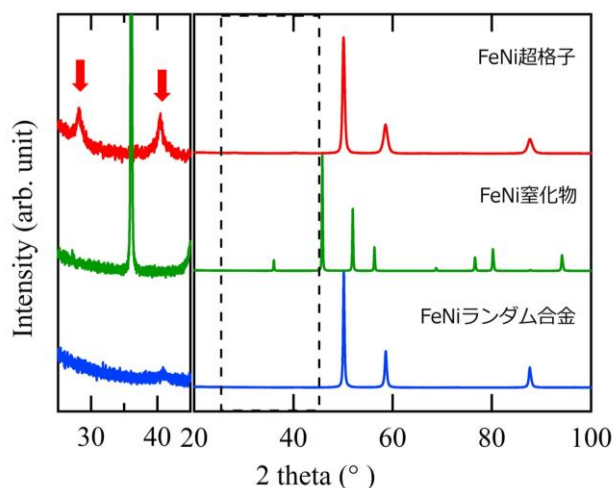
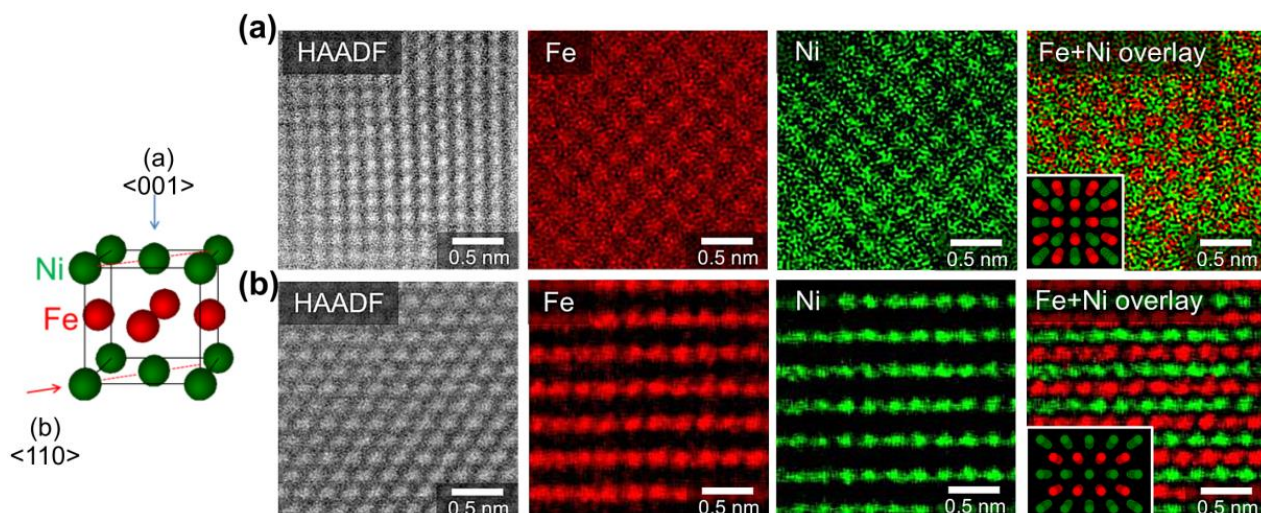


図2 X線構造解析結果(图中矢印は超格子に特有なピーク)



(a) 左図の結晶上面から原子像を観察した結果  
 (b) 左図の結晶側面から原子像を観察した結果

図3 NITE法で合成したFeNi超格子のSTEM-EDX像

### 3. 今後の予定

開発した NITE 法は、ガスとの反応を用いたシンプルなプロセスであるため工業的な生産に適しています。加えて、FeNi 超格子を単一相で、磁石化に適した粉末形状で得ることができます。これらの成果は、高性能レアアースフリー磁石である FeNi 超格子磁石の開発を飛躍的に加速できると期待されます。今後は、FeNi 超格子磁石のモーター用永久磁石への適用を目指して、保磁力<sup>※4</sup>をさらに高めるための結晶方向の整列、粒子形状制御や成形法を検討していきます。

#### 【用語解説】

##### ※1 NEDOプロジェクト

次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発(2014年度～2021年度)

##### ※2 FeNi超格子

Fe原子層とNi原子層が規則的に積層された結晶構造で、結晶の規則度が高いほど、高い磁石特性が期待できる。ネオジム磁石に匹敵する磁力を持ち、磁力を失うキュリー温度が550℃以上と高いため、高温が想定される車載モーター用磁石として期待されている。

##### ※3 STEM-EDX像

走査型透過電子顕微鏡STEM(Scanning Transmission Electron Microscope)とエネルギー分散型X線分析EDX(Energy Dispersive X-ray analysis)を組み合わせることで、材料の原子像や構成する元素とその濃度を調べることができる。

##### ※4 保磁力

磁石に逆向きの外部磁場をかけ、磁石の磁化がゼロになったときにかけていた外部磁場の強さ。保磁力が大きいと磁気的な安定性が優れている。材料や組織構造などで変化する。

### 4. 問い合わせ先

(本ニュースリリースの内容についての問い合わせ先)

NEDO 材料・ナノテクノロジー部 担当:渡部、坂井 TEL:044-520-5220

高効率モーター用磁性材料技術研究組合 担当:作田 TEL:03-3592-0189

(その他NEDO事業についての一般的な問い合わせ先)

NEDO 広報部 担当:坂本、高津佐、藤本 TEL:044-520-5151 E-mail:nedo\_press@ml.nedo.go.jp