



希土類磁石の構造解析

細川明秀
産業技術総合研究所

キーワード：冷間加工，結晶欠陥，半価幅，永久磁石，固化成形

1. 背景と研究目的

近年、Nd-Fe-B 磁石に代表される希土類磁石は風力発電やエアコン、電気自動車/ハイブリッド自動車のモータ部分での使用量が増えており、今後もその需要は増え続け、磁石のグローバル市場規模(エンドユーザー)は 2026 年には 368 億米ドル (=4 兆円、2016 年比で 2.75 倍) に上ると予測されている⁽¹⁾。こうした需要に持続的に応えていくために、現行磁石の性能を超越する次世代磁石材料の開発が急務である。そんな中、Sm-Fe-N 磁石は高温での特性に優れる事から有望視されているが、600°C 程度で熱分解する事から高温で焼結ができずバルク化が進まなかった。一方で、申請者は過去に Nd-Fe-B 系粉末に高圧ねじり加工法という特殊な手法を適用する事で、粉末を固化成形し緻密化する事を報告している⁽²⁾。高圧ねじり加工はコイン状の試料をくぼみのついたアンビルに上下から挟み込み、高圧をかけながらねじり変形を与えるという手法である。この方法は、非常に大きな静水圧応力を印加した状態で加工を行うため、脆い材料でも巨大変形を与える事ができるという利点がある。Sm-Fe-N はバルク化した事例が少ない上、非常に脆いため冷間加工した事例は皆無であり、どのようなマイクロ・ナノ組織が発達するのかは未解明のままである。そこで本研究では、Sm-Fe-N の圧密成形体に高圧ねじり加工を適用し、(i)冷間加工だけで緻密化するか(ii)冷間加工によりどのような組織が形成されるか、に着目し実験を行った。

2. 実験内容

市販の Sm-Fe-N 粉末を超硬合金製の金型を使って円盤状の圧粉体(直径 6 mm ; 厚さ 0.9 mm)を作製した。この円盤状試料を高圧ねじり加工 (10 GPa, 回転回数 $N=1$, 回転速度 0.2 rpm) に供した。加工後の円盤状試料は半分に切断され、断面組織を走査型電子顕微鏡で観察するとともに、あいちシンクロトロン光センター(BL8S1)にて波長 0.863 Å の放射光を用い回折実験($\theta/2\theta$ 測定)を行った。高圧ねじり加工では円盤試料中心でひずみがゼロで半径方向に大きくなるという特徴があるため、放射光は 0.5 mm に絞ったビームを試料中心から外側に向かって照射位置をずらしながら測定を行った。

3. 結果および考察

断面観察の結果、円盤試料中心部では空隙が目立つのに対し、試料の外側のせん断ひずみが大きくなる領域で空隙が少なくなり緻密化が進んでいる事がわかった。Fig.1 の回折実験結果に示すようにせん断ひずみの増加に伴い回折ピークが明らかにブロード化する事も確認できており、冷間加工ひずみをしっかりと導入できる事が明らかとなった。今後は透過型電子顕微鏡観察で Sm-Fe-N に発達する冷間加工組織の解析を進め、高性能磁石化のヒントを探る。

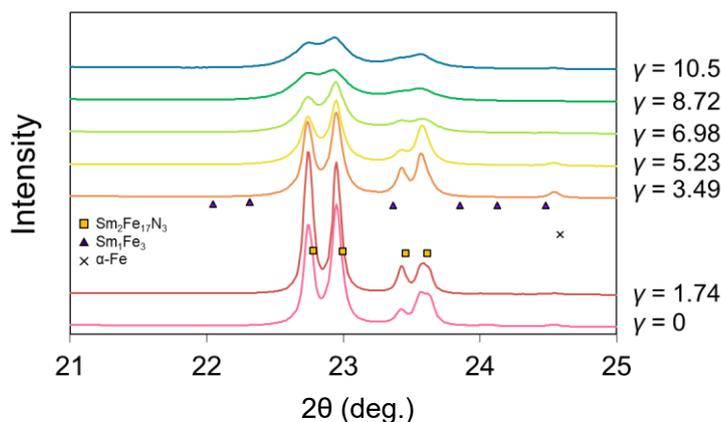


Fig.1 Diffraction patterns exhibiting peak broadening with increasing shear strain γ .

4. 参考文献

- (1) Stratics MRC Pvt Ltd., (2017) *Permanent Magnets - Global Market Outlook*.
- (2) Hosokawa et al., *AIP Advances* 8 (2018) 095019