

次世代永久磁石の 開発最前線

— 磁性の解明から構造解析、
省・脱レアアース磁石、モータ応用まで —

監修 尾崎 公洋 (産業技術総合研究所磁性粉末冶金研究センター研究センター長)
杉本 諭 (東北大学大学院工学研究科 教授)



■ 発刊 2019年2月 ■ 体裁 B5判356頁 ■ 定価 本体45,000円+税 ■ ISBN 978-4-86043-586-8

世界最強の永久磁石であるネオジム磁石の性能を超える次世代磁石開発の最新研究を概観する!
レアアースに依存しない次世代永久磁石とそれらを利用した高効率モータ開発の最新動向を追う!

概要目次

- ◆ 序 論 希少金属に依らない
次世代永久磁石の開発と今後の展望
- ◆ 第1編 磁性と構造解析
 - 第1章 磁性と磁化反転挙動
 - 第2章 評価と組織解析
 - 第3章 微細構造解析
- ◆ 第2編 省・脱レアアース磁石と
高効率モータ開発
 - 第1章 ネオジム磁石の新展開
 - 第2章 サマリウム系磁石の新展開
 - 第3章 フェライト系磁石の新展開
 - 第4章 磁石材料の新展開
(省レアアース/フリー磁石の開発)
 - 第5章 高効率永久磁石モータの開発

執筆者 (執筆順)

合田 義弘	東京工業大学	度會 亜起	愛知製鋼(株)
加藤 宏朗	山形大学	桜田 新哉	(株)東芝
小池 邦博	山形大学	高木 健太	産業技術総合研究所
大久保忠勝	物質・材料研究機構	岡田 周祐	産業技術総合研究所
小山 敏幸	名古屋大学	松浦 昌志	東北大学
塚田 祐貴	名古屋大学	小原 学	明治大学
竹澤 昌晃	九州工業大学	中川 貴	大阪大学
佐々木泰祐	物質・材料研究機構	清野 智史	大阪大学
板倉 賢	九州大学	山本 孝夫	大阪大学
小林 義徳	日立金属(株)	三宅 隆	産業技術総合研究所
川田 常宏	日立金属(株)	平山 悠介	産業技術総合研究所
岡崎 宏之	(公財)高輝度光科学研究センター	小林久理真	静岡理科大学
齊藤耕太郎	ポール・シェラー研究所	水口 将輝	東北大学
小野 寛太	高エネルギー加速器研究機構	小嶋 隆幸	東北大学
中村 哲也	(公財)高輝度光科学研究センター	高梨 弘毅	東北大学
小谷 佳範	(公財)高輝度光科学研究センター	柳原 英人	筑波大学
豊木研太郎	(公財)高輝度光科学研究センター	後藤 翔	(株)デンソー
日置 敬子	大同特殊鋼(株)	中野 正基	長崎大学
服部 篤	(株)ダイドー電子	柳井 武志	長崎大学
清水 治彦	(株)本田技術研究所	福永 博俊	長崎大学
中澤 義行	(株)本田技術研究所	山際 昭雄	ダイキン工業(株)
秋屋 貴博	(株)ダイドー電子	森本 茂雄	大阪府立大学
廣田 晃一	信越化学工業(株)	相馬 慎吾	(株)本田技術研究所
中村 元	信越化学工業(株)	藤代 智	(株)本田技術研究所
三嶋 千里	愛知製鋼(株)	小坂 卓	名古屋工業大学

株式会社 エヌ・ティー・エス 行 FAX:047-314-0810

年 月 日

「次世代永久磁石の開発最前線」を()部申し込みます。

申込要領

■直接小宛宛にFAX、郵便またはホームページにてお申し込み下さい。なお、送料は無料です(国内に限ります)。

■お支払い方法
商品到着後、銀行振込、郵便振替、カードにてお支払い下さい(一部カード会社によってはリボルビングや分割払いがご利用頂けない場合がございます)。

■お申し込みお問い合わせ先
(株)エヌ・ティー・エス 営業部

株式会社 エヌ・ティー・エス
◆市川AIセンター
〒272-0023
千葉県市川市南八幡4-3-3 武蔵屋ビル4F
TEL 047-314-0801 FAX 047-314-0810
<http://www.nts-book.co.jp>

購入申込書

団体名	TEL	
	FAX	
所在地	□□□-□□□□	
購入希望部 署	氏名	
e-mail		
申込担当部 署	氏名	
e-mail		
通信欄	NTS 担当者	

ここに記入いただいた個人情報は、下記目的のために利用されます。

(1)お客様との契約の履行、管理 (2)新規書籍及びセミナーの紹介等、当社の営業内容の紹介 (3)お客様に有用と思われる当社提携先の書籍・サービス等の紹介
尚、弊社における「個人情報の取扱いについて」及び、「個人情報保護方針」については弊社HPをご覧ください。

次世代永久磁石の開発最前線

目次

序論 希少金属に依らない 次世代永久磁石の開発と今後の展望

……《尾崎 公洋》

1. ネオジム磁石の発展
2. 奇跡の材料
3. 永久磁石開発のこれまで、現在、今後

第1編 磁性と構造解析

第1章 磁性と磁化反転挙動

第1節 第一原理計算による永久磁石材料の局所磁性

……《合田 義弘》

1. はじめに
2. 第一原理計算
3. Nd-Fe-B磁性副相
4. Nd-Fe-B磁石における主相-副相界面
5. おわりに

第2節 交換結合ナノコンポジット磁石の 特性発現メカニズム

……《加藤 宏朗、小池 邦博》

1. はじめに
2. 強磁性共鳴によるNd-Fe-B/Fe系ナノコンポジット磁石
における交換結合の評価
3. Nd-Fe-B/Fe系異方性ナノコンポジット磁石
4. SmFe₁₂/Fe系異方性ナノコンポジット磁石
5. Nd-Fe-B/Fe系ナノコンポジット磁石における
界面結晶方位と交換結合
6. さらなる高性能化のために

第3節 希土類系磁石材料の磁化過程メカニズム

……《大久保 忠勝》

1. はじめに
2. 初磁化過程
3. 減磁過程
4. SmCo系磁石のヒギングメカニズム
5. おわりに

第4節 ネオジム磁石の粒界相形成メカニズムに対する フーズフィールド解析

……《小山 敏幸、塚田 祐貴》

1. はじめに
2. 計算方法
3. 計算結果および考察
4. 組織形成シミュレーションに関する問題点と展望
5. おわりに

第2章 評価と組織解析

第1節 マイクロ磁気イメージングによる 磁石性能劣化評価

……《竹澤 昌晃》

1. Kerr効果を用いたネオジム磁石の磁区観察
2. 磁石材料観察のためのKerr効果顕微鏡と
磁化反転機構観察のための画像処理
3. Nd₂Fe₁₄B系系統結磁石の熱減磁過程の観察例
4. Sm₂Co₁₇系統結磁石の熱減磁過程の観察例

第2節 Nd-Fe-B焼結磁石のマルチスケール組織解析

……《佐々木 泰祐》

1. はじめに
2. ネオジム磁石の組織解析手法
3. 一般的な商用ネオジム磁石の微細組織
4. おわりに

第3節 熱間加工Nd-Fe-B磁石の原子レベル構造解析

……《板倉 賢》

1. はじめに
2. 熱間加工磁石の微細構造解析
3. Dy拡散熱間加工磁石の微細構造解析
4. 原子分解能収差補正STEM-EDSによる解析
5. おわりに

第4節 電子顕微鏡による高性能フェライト磁石の マルチスケール組織解析

……《小林 義徳、川田 常宏》

1. はじめに
2. 高性能フェライト磁石の局所構造解析
3. 高性能フェライト磁石の主相界面における
微細組織解析
4. おわりに

第3章 微細構造解析

第1節 放射光X線回折による磁石構成相の 高温挙動解析

……《岡崎 宏之、中村 哲也》

1. はじめに
2. Nd-Fe-B焼結磁石のin-situ高温X線回折プロファイル
3. Nd-Fe-B焼結磁石構成相の格子定数の温度依存性
4. Nd-Fe-B焼結磁石構成相の体積分率の温度依存性

第2節 磁石材料における中性子解析

……《斉藤 耕太郎》

1. 磁石材料研究からみた中性子回折の特徴
2. 磁石材料におけるサイト占有率解析の意義
3. サイト占有率解析の現状
4. 磁石材料における磁気構造解析の意義
5. 磁気構造解析の現状
6. パルク試料測定

第3節 永久磁石材料の内部磁気構造解析

……《小野 寛太》

1. はじめに
2. 中性子小角散乱を用いた内部磁気構造解析
3. ネオジム磁石の磁化反転過程と内部磁気構造変化
4. おわりに

第4節 放射光ナノビーム解析による磁化反転解析

……《中村 哲也、小谷 佳範、豊木 研太郎》

1. はじめに
2. 技術開発の背景
3. 走査型軟X線MCD顕微分光装置
4. Nd-Fe-B焼結磁石における磁区変化観察と
局所磁気ヒステリシス解析
5. 今後の展望

第2編 省・脱レアアース磁石と 高効率モータ開発

第1章 ネオジム磁石の新展開

第1節 熱間加工法による重希土類フリー磁石の開発

……《日置 敬子、服部 篤》

1. はじめに
2. ネオジム磁石の保磁力向上方法について
3. 熱間加工磁石の原料均質化について
4. 成分組成および組織制御による高保磁力化
5. おわりに

第2節 Nd-Fe-B熱間加工磁石材料の組織均質化技術

……《清水 治彦、中澤 義行》

1. はじめに
2. 熱間加工磁石の課題
3. 熱間加工磁石の原料均質化と粗大化メカニズム
4. 熱間加工磁石の組織均質化技術
5. 組織均質化による磁気特性向上効果
6. おわりに

第3節 熱間加工磁石の粒界浸透プロセスにおける 膨張現象メカニズムの解明

……《秋屋 真博、日置 敬子》

1. はじめに
2. 実験方法
3. 実験結果
4. 熱間加工磁石への共晶合金の浸透メカニズム考察
5. まとめと今後の展望

第4節 粒界拡散合金法によるネオジム焼結磁石の開発

……《廣田 晃一、中村 元》

1. ネオジム磁石における課題
2. 粒界拡散合金法による磁気特性向上
3. 供給形態による種々の粒界拡散技術
4. 保磁力分布磁石

第5節 DyフリーNd-Fe-B系異方性ボンド磁石の開発

……《三嶋 千里、度會 亜起》

1. はじめに
2. Nd系異方性ボンド磁石
3. 異方性ボンド磁石の応用
4. おわりに

第2章 サマリウム系磁石の新展開

第1節 耐熱モータ用高鉄濃度サマリウムコバルト磁石の 開発

……《桜田 新哉》

1. はじめに
2. サマリウムコバルト磁石の製造プロセスと
磁気特性発現機構
3. 高鉄濃度化のための組織制御技術
4. 高鉄濃度サマリウムコバルト磁石量産技術
5. 開発磁石の特長と効果
6. 耐熱モータへの適用事例と効果検証
7. おわりに

第2節 異方性Sm₂Fe₁₇N₃焼結磁石の開発

……《高木 健太》

1. はじめに
2. Sm₂Fe₁₇N₃焼結磁石の問題
3. 焼結による保磁力低下現象の理解
4. 低酸素プロセスによる保磁力低下の抑制
5. その他の保磁力低下抑制手法と今後の展望

第3節 Sm₂Fe₁₇N₃高保磁力磁石粉末の開発

……《岡田 周祐》

1. はじめに
2. サブミクロンサイズSm₂Fe₁₇微粉末の開発
3. 高保磁力なSm₂Fe₁₇N₃微粉末の作成
4. 前駆体開裂による粒間焼結の抑制と
磁性特性の向上
5. おわりに

第4節 Sm₂Fe₁₇N₃系磁石の高特化性

……《松浦 昌志》

1. Sm-Fe-N系バルク磁石向け高特性粉末の開発
2. 新規Sm-Fe-N系コアシェル粉末の開発

第3章 フェライト系磁石の新展開

第1節 Ca-La-Co系M型フェライト磁石の開発と 最近の研究動向

……《小原 学》

1. はじめに
2. Ca-La-Co系M型フェライト磁石の開発まで

3. Ca-La-Co系M型フェライト磁石に関する最近の研究
4. おわりに

第2節 W型フェライト磁石の磁気特性

……《中川 真、清野 智史、山本 孝夫》

1. はじめに
2. W型フェライトの合成条件
3. 置換元素のサイト解析と磁気特性
4. SPS焼結による保磁力の向上
5. おわりに

第4章 磁石材料の新展開 (省レアアース／フリー磁石の開発)

第1節 ThMn₁₂構造磁性材料の磁気特性予測

……《三宅 隆》

1. ThMn₁₂構造
2. NdFe₁₂Nの磁性
3. Feサイトの置換効果
4. Rサイトの置換効果
5. 侵入型元素の効果
6. おわりに

第2節 ThMn₁₂構造の高性能磁石としての可能性

……《平山 悠介》

1. はじめに
2. NdFe₁₂Nx化合物薄膜の合成方法と
その磁気特性について
3. Sm(Fe_{1-x}Co_x)₁₂化合物薄膜の合成方法と
その磁気特性について
4. YFe₁₂化合物について
5. まとめと今後の展望

第3節 ThMn₁₂構造を有する高鉄含有磁石の 合成と磁気特性

……《小林 久理真》

1. はじめに
2. ThMn₁₂型構造磁石材料の結晶学的安定性
3. ThMn₁₂型構造磁石材料の磁気特性発現原理
4. ThMn₁₂型構造磁石材料の保磁力に関する話題
5. まとめ

第4節 L₁₀型FeNi超格子薄膜材料の作製と磁気特性

……《水口 将輝、小嶋 隆幸、高梨 弘毅》

1. はじめに
2. 単原子交互積層法によるL₁₀型FeNi規則合金薄膜の
作製と特性評価
3. L₁₀型FeNi規則合金薄膜におけるFe-Ni組成依存性
4. L₁₀型FeNi規則合金薄膜におけるCo原子の添加効果
5. Cu単結晶基板へのFeNi薄膜の作製
6. 課題と将来展望

第5節 完全レアアースフリーFeNi磁石の開発

……《柳原 英人、後藤 翔》

1. はじめに
2. 新規磁石材料開発の背景
3. FeNi超格子の特長
4. FeNi超格子磁石の課題
5. FeNi超格子の合成法
6. NITE法
7. NITE法により合成したFeNi超格子の特性
8. おわりに

第6節 積層型ナノコンポジット磁石の開発

……《中野 正基、柳井 武志、福永 博俊》

1. はじめに
2. 等方性積層型SmCo₅/α-Feナノコンポジット磁石の
計算機解析
3. 等方性積層型SmCo/α-Feナノコンポジット磁石膜の
作製
4. おわりに

第5章 高効率永久磁石モータの開発

第1節 IPMモータの開発

……《山際 昭雄》

1. IPMモータの開発
2. IPMモータの特徴
3. 圧縮機用分巻巻IPMモータの開発事例
4. 圧縮機用集中巻IPMモータの開発事例
5. おわりに

第2節 自動車駆動用高効率IPMモータの開発

……《森本 茂雄》

1. はじめに
2. 磁石の特性と配置が運転特性に及ぼす影響
3. 小型化・高効率化の検討
4. おわりに

第3節 重希土類フリーハイブリッド自動車用モータの 開発

……《相馬 慎吾、藤代 智》

1. はじめに
2. 重希土類フリーHV用モータ
3. 達成手法
4. 実験結果
5. おわりに

第4節 高効率可変界磁型モータの開発

……《小坂 卓》

1. はじめに
2. HEFSMの構造と可変界磁動作原理
3. 磁石内周／外周配置型HEFSMの得失比較
4. 高効率磁石中央配置型HEFSM