

技術資料



Technical Paper

Sm-Fe-N 系等方性ボンド磁石の磁気特性資料

森井浩一*¹, 長谷川文昭*²

Data Sheet of Sm-Fe-N Isotropic Bonded Magnet

Koichi Morii and Fumiaki Hasegawa

Synopsis

Sm-Fe-N bonded magnets has been regcognized as a high performance materials. The features of this magnet are as follows:

- (1) The compression molded Sm-Fe-N magnets showd high $(BH)_{\max}$ values of 112 kJ/m³.*
- (2) The compression molded Sm-Fe-N magnets showd high corrosion resistance.*
- (3) The compression molded Sm-Fe-N magnets showd ecxellent long term heat resistance.*
- (4) The injection molded Sm-Fe-N magnets showd high $(BH)_{\max}$ values of 79 kJ/m³.*

Newly developed "Super low-impedance magnetizer" for small and/or high H_{cJ} magnets was also described in this paper.

1. 緒 言

ボンド磁石は、その形状の自由度、他部品との一体成型が可能なことなどから、既に Nd-Fe-B 系ボンド磁石として大きな市場が形成されている。磁石材料として新しく登場した Sm-Fe-N 系磁粉石も、徐々に工業材料として市場が拡大してきている。近年、希土類原産国に限られていることによる地域リスクや、その大量使用に伴い Nd 価格は上昇している。しかし、その副産物 Sm は資源的に余剰気味で割安となってきたおり、Sm-Fe-N 系ボンド磁石にとって追い風になっている。Sm-Fe-N 系磁石には組成の点から大きく 2 種類あり、一つは SmCo₅ 磁石の製法としても使用されている拡散還元法が適用できる Sm₂Fe₁₇N_x 系磁石である。このほか超急冷法で合金薄帯として製造できる SmFe₇N_x 系磁石は、さらに高磁気特性であることから、大同特殊鋼(株)および(株)ダイドー電子(以下、当社という)は、開発にとりくんできた^{1), 2)}。本技術資料では、この Sm-Fe-N 系ボンド磁石の特性および関連技術について紹介する。

2. 圧縮ボンド磁石

2. 1 概要

Sm-Fe-N 等方性ボンド磁石は、Sm-Fe 系合金を超急冷法により微細結晶粒を有する粉末にし、窒化処理を施した Sm-Fe-N 系磁石粉末^{1), 2)}を、樹脂で結合させた等方性ボンド磁石である。等方性ボンド磁石としては、世界最高レベルの最大エネルギー積 $(BH)_{\max} = 112 \text{ kJ/m}^3$ を有し、優れた耐食性および長期熱安定性を示す。

当社では、磁粉の開発・製造からボンド磁石の製造・販売まで一貫して行っており、2008 年 4 月現在、Sm-Fe-N 等方性ボンド磁石 (NITROQUENCH®) を量産しているのは、当社のみである。

NITROQUENCH® のラインナップとしては、Table 1, Table 2 に示すような保磁力の異なるもの 2 種を用意しているが、今後用途に合わせてさらに多品種化していく予定である。この内、圧縮成型磁石については、ダイドー電子の中津川工場、中国・深圳工場、タイ工場で生産中である。

2008 年 3 月 19 日受付

* 1 大同特殊鋼(株)研究開発本部、工博 (Dr., Eng., Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 (株)ダイドー電子、開発部 (Development Department, Daido Electronics Co., Ltd.)

Table 1. Grades of Sm-Fe-N (NITROQUENCH) isotropic magnets.

Items	Grades
Magnetic powder	SFN(2 type)
Compression molded magnets	SP-14, SP-14L
Injection molded magnets	SPI-10, SPI-10L(under development)

Table 2. Magnetic properties of compression molded NITROQUENCH-P.

Item	Unit	Sm-Fe-N (NITROQUENCH-P)		Nd-Fe-B (NEOQUENCH-P)
		SP-14	SP-14L	NP-12L
Residual flux density B_r	mT (kG)	750 ~ 820 (7.5 ~ 8.2)	750 ~ 830 (7.5 ~ 8.3)	720 ~ 770 (7.2 ~ 7.7)
Coercivity H_{cB}	kA/m (kOe)	450 ~ 520 (5.7 ~ 6.5)	450 ~ 510 (5.7 ~ 6.4)	454 ~ 509 (5.7 ~ 6.4)
Intrinsic coercivity H_{cJ}	kA/m (kOe)	670 ~ 800 (8.5 ~ 10.0)	550 ~ 670 (7.0 ~ 8.5)	716 ~ 836 (9.0 ~ 10.5)
Maximum energy product (BH) _{max}	kJ/m ³ (MGOe)	98 ~ 112 (12.4 ~ 14.0)	98 ~ 112 (12.4 ~ 14.0)	88 ~ 99 (11.0 ~ 12.5)
Reversible temperature coefficient, α	% / °C	-0.04 ~ -0.07	-0.05 ~ -0.07	-0.10

2. 2 磁気特性

圧縮ボンド磁石の代表的な磁気特性を Table 2, Fig.1 に示す。比較のため当社の代表的な Nd-Fe-B 系圧縮ボンド磁石 (NEOQUENCH-P®(NP-12L)) のデータを併記した。残留磁束密度 B_r が大きく $(BH)_{max} = 112 \text{ kJ/m}^3$ と Nd-Fe-B 系に比べ 10 % 以上の高い最大エネルギー積を示す。温度係数については、約 $-0.05 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ と Nd-Fe-B 系の半分であり、磁束の温度変化が小さいことがわかる。保磁力のグレードについては、現在 2 種であるが、さらに高い保磁力 $H_{cJ}=915 \text{ kA/m}$ クラスの開発もできており、量産に移行する見込みである。

物理特性、機械的特性について、Table 3 に示した。磁

粉の真密度は、 7700 kg/m^3 であり、Nd-Fe-B 系よりやや高い。ボンド磁石としては Nd-Fe-B 系と同等の機械強度を有しており、部品に組み込む際に機械的な影響はない。

Fig.2 に熱減磁特性を示した。グラフ上の平行部の温度の傾きが Sm-Fe-N 等方性ボンド磁石の方が小さく、温度係数が小さいことがわかる。

Fig.3 に無塗装品の 100°C 保持における不可逆減磁特性を示した。保持時間に対し、Nd-Fe-B 系は徐々に下がり続けるが、Sm-Fe-N 等方性ボンド磁石はほぼ一定であり、初期減磁以降の長期熱安定性に優れていることがわかる。これは、本磁石の大きな特長の一つである。図中の不可逆減磁率および Fig.2 の各高温から室温に戻した際の減磁

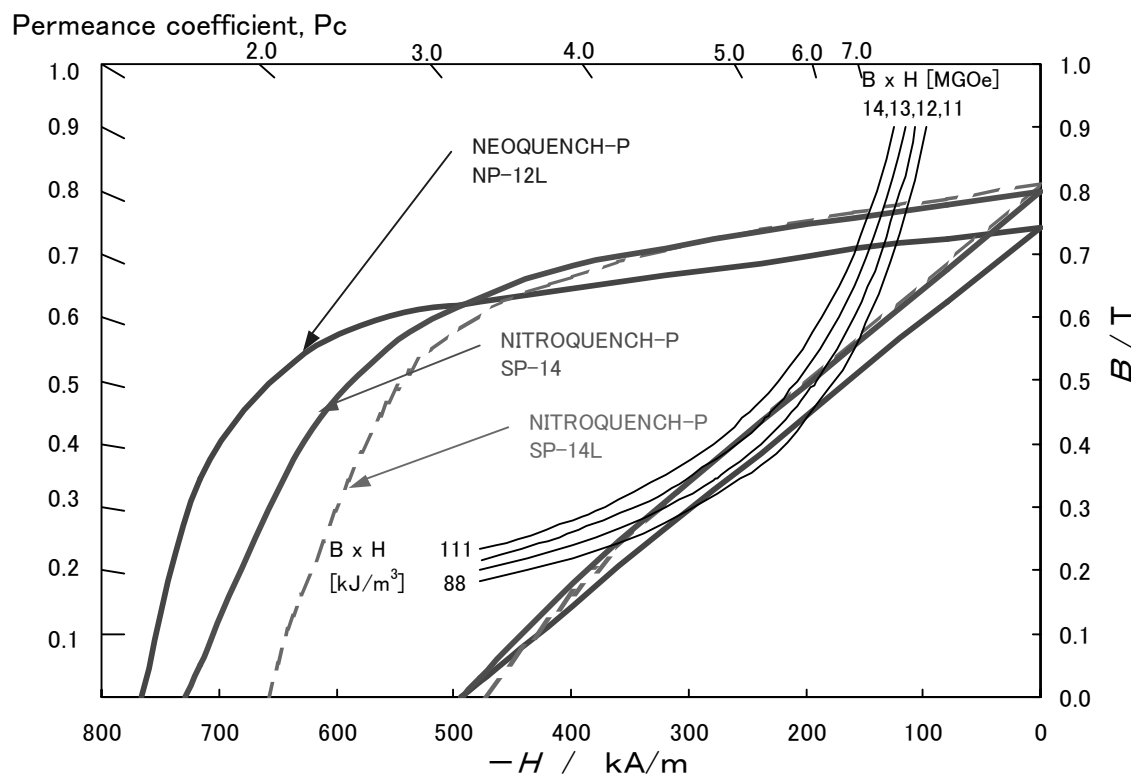


Fig.1. Typical demagnetization curves of Sm-Fe-N compression molded bonded magnets.

Table 3. Physical and mechanical properties.

Item	Unit	Sm-Fe-N (NITROQUENCH-P)	Nd-Fe-B (NEOQUENCH-P)
		SP-14, SP-14L	NP-12L
Density ρ	kg/m ³	5800 ~ 6400	6100 ~ 6400
Thermal expansion coefficient (20 °C ~ 100 °C)	10 ⁻⁶ /K	12.6	10.0
Flexural strength	MPa (kgf/mm ²)	52 (5.3)	52 (5.3)
Bending elastic modulus	MPa (kgf/mm ²)	10800 (1100)	10800 (1100)
Ring crushing strength	MPa (kgf/mm ²)	54 (5.5)	54 (5.5)

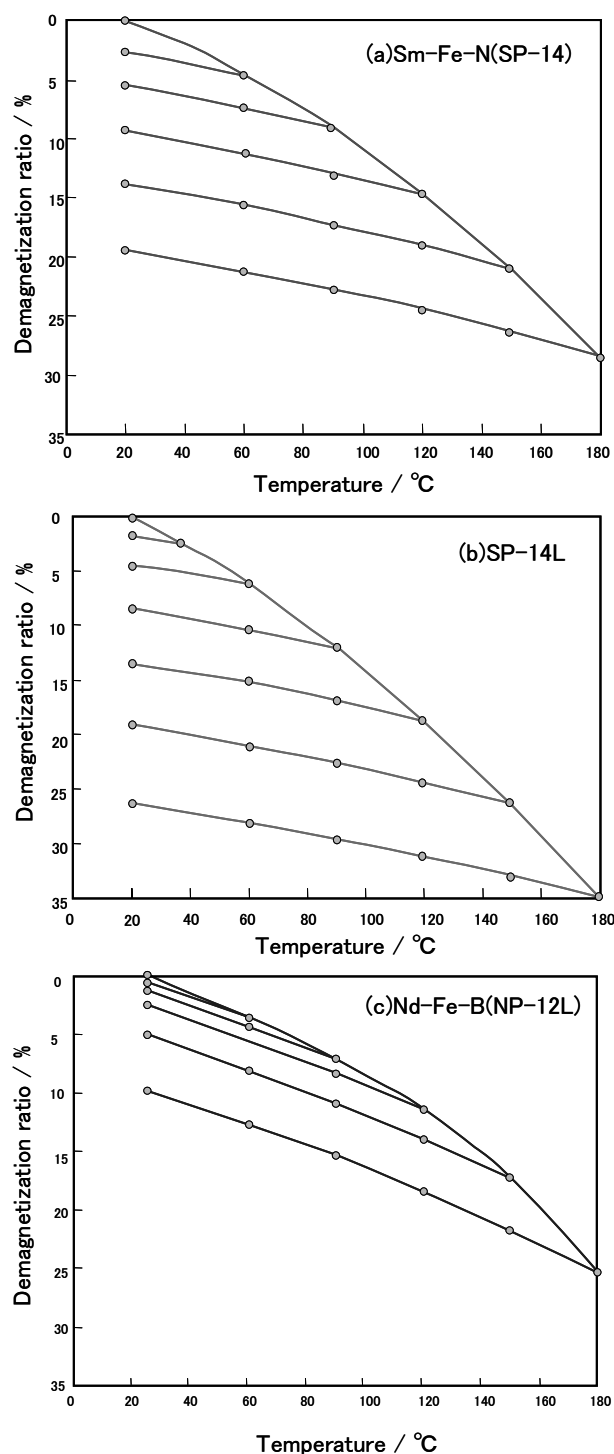


Fig.2. Thermal demagnetization curve.
Sample shape : $\Phi 10 \times 7$ ($P_c \approx 2$), Heat and cooling rate: 0.2 °C/min.
(a) Thermal demagnetization curve of NITROQUENCH-P (SP-14).
(b) Thermal demagnetization curve of NITROQUENCH-P (SP-14L).
(c) Thermal demagnetization curve of NEOQUENCH-P (NP-12L).

率からも初期減磁は、やや大きい。この点は、今後材料面での改良をはかる計画であるが、現状のままでも適切な「熱枯らし」を行うことにより、対処できるものと考ええる。磁石製品は、各機器への組み込み時、必然的にリフローによる熱の影響を受ける機会が多い。これを想定して、無塗装品で 120, 150, 180 °C \times 1h の熱枯らしを行い、次いで 120, 150 °C で長時間保持した場合の熱減磁特性を Fig.4 に示した。初期減磁以降は、1000 h 以上保持してもほとんど減磁しておらず、長期熱安定性の良さがわかる。

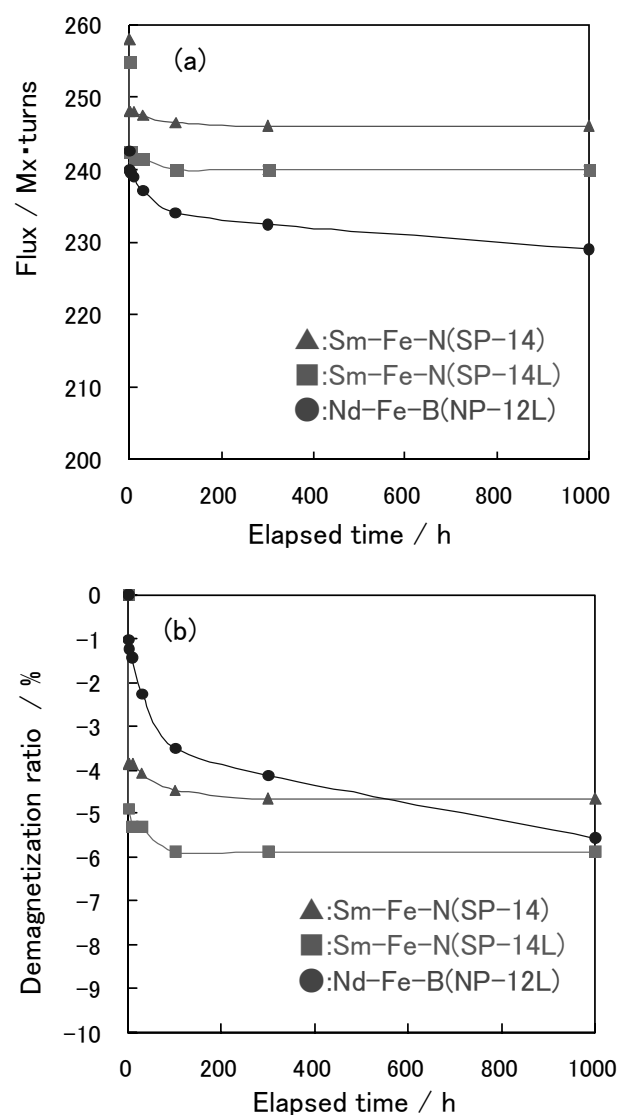


Fig.3. Thermal stability of compression-molded bonded magnets at 100 °C in air.
Sample shape: $\Phi 10 \times 7$ ($P_c \approx 2$)

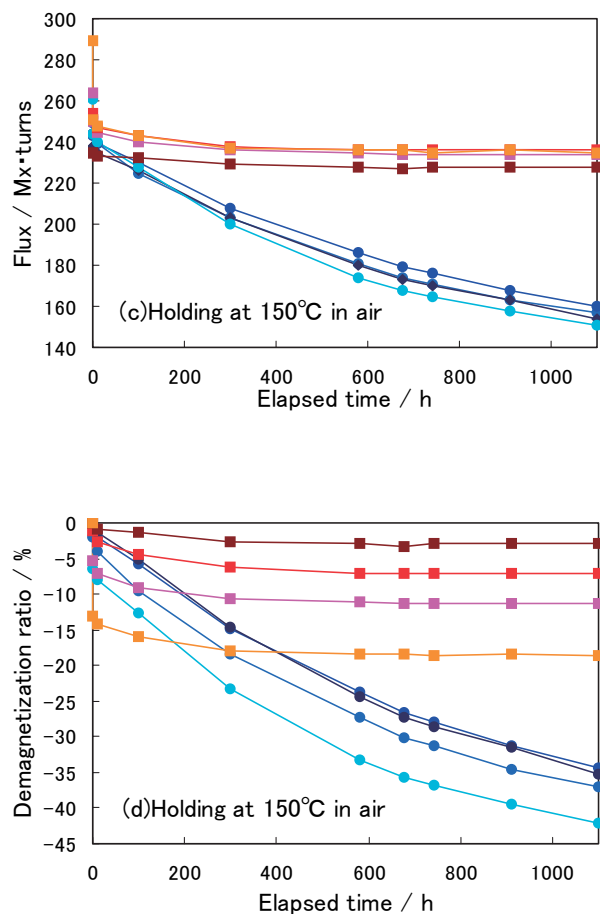
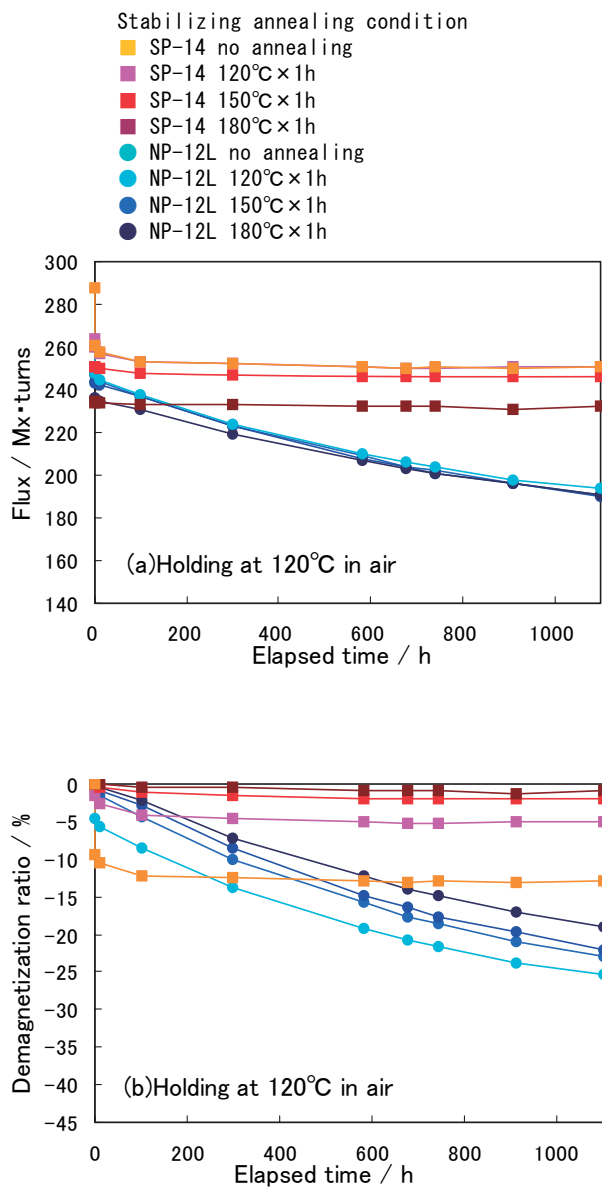


Fig.4. Demagnetization properties after several stabilizing annealing condition.

また本製品のもう一つの大きな特長である耐食性の良さを示したのが、Fig.5である。この80℃×95%RH×300h暴露試験後の無塗装磁石の外観写真から、耐食性の良さがわかる。実際の使用にあたっては、磁粉の脱落を防止する目的で、簡易・安価な塗装を行っている。

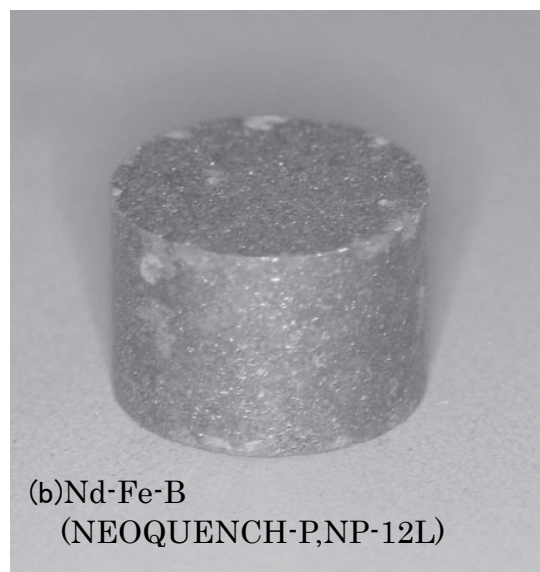
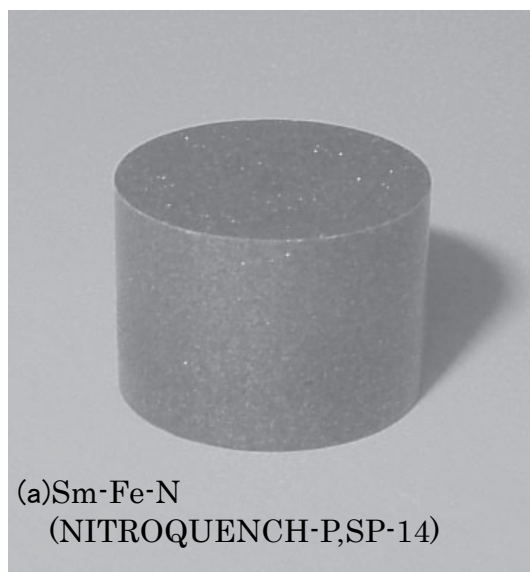


Fig.5. Corrosion test result of compression-molded bounded magnets at 80℃, 95%RH, 300h.(without coating)

2. 3 着磁性

着磁性については、Fig.6 に示した。低い磁界では着磁率が低いですが、2000 kA/m 以上の磁界では、Nd-Fe-B 系と同等の着磁率となる。この点に対応するため当社では本ボンド磁石と合わせて、4 項のような超低インピーダンス電源の提案も行っている。

3. 射出成型磁石（開発中）

形状自由度が大きく、金属シャフトなどと一体成型も容易な射出成型磁石についても開発中である。磁粉の密度を高めることにより高特性とし、サンプル出荷可能な段階となっている。Table 4, Fig.7 に、品名:SPI-10L, サンプル形状: $\Phi 10 \times 7(\text{mm})$ について、基本的な磁気特性を示した。 $(BH)_{\text{max}} = 79 \text{ kJ/m}^3$ と、従来の射出成型磁石と一線を画する磁気特性が得られている。

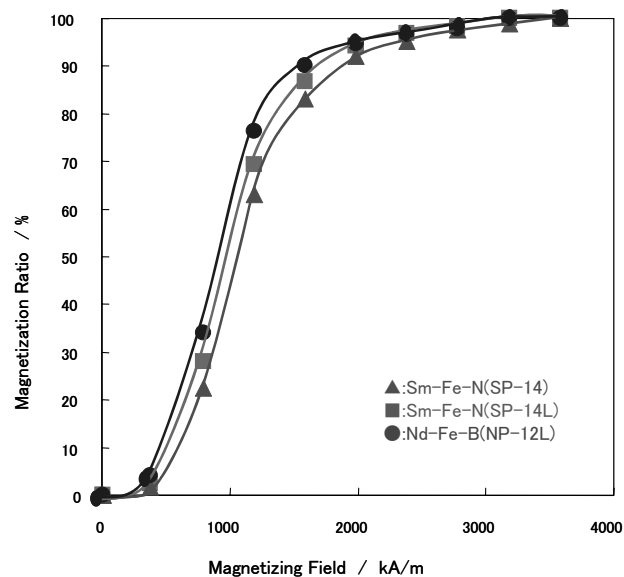


Fig.6. Relationship between magnetizing field and magnetic properties.

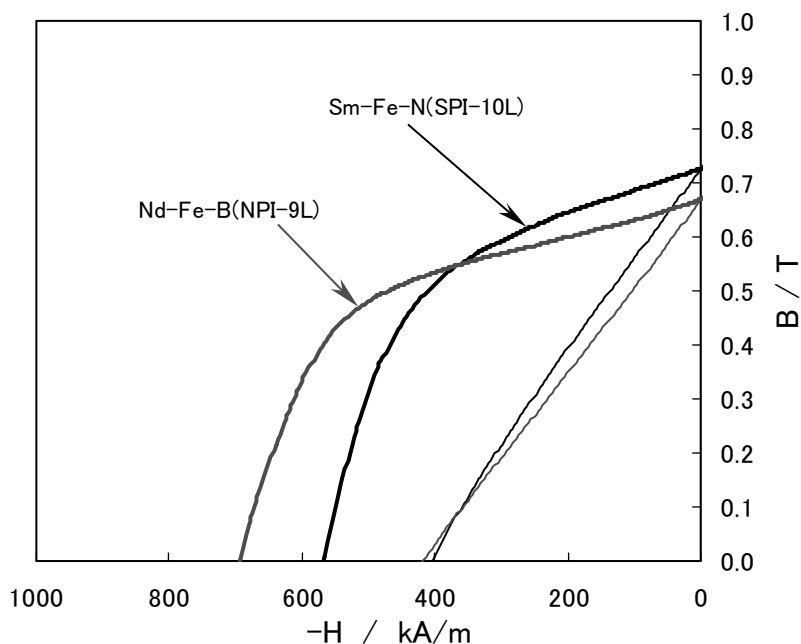


Fig.7. Demagnetization curves of injection molded NITROQUENCH-P.

Table 4. Magnetic properties of injection molded NITROQUENCH-P.(Under development)

Item	Unit	Sm-Fe-B (NITROQUENCH-P)	Nd-Fe-B (NEOQUENCH-P)
		SPI-10L	NPI-9L
Residual flux density B_r	mT (kG)	725 (7.25)	640 ~ 720 (6.4 ~ 7.2)
Coercivity H_{cB}	kA/m (kOe)	404 (5.1)	398 ~ 462 (5.0 ~ 5.8)
Intrinsic coercivity H_{cJ}	kA/m (kOe)	568 (7.1)	637 ~ 796 (8.0 ~ 10.0)
Maximum energy product $(BH)_{\text{max}}$	kJ/m ³ (MGOe)	79 (9.9)	68 ~ 76 (8.5 ~ 9.5)
Reversible temperature coefficient, α	% / °C	—	-0.10
Density ρ	kg/m ³	5600	5500 ~ 6000

Sample Shape : $\Phi 10 \times 7 (\text{mm})$

4. 着磁用超低インピーダンス電源

本電源の外観を Fig.8 に示した。特長は、

- ・電源内部インピーダンスを極力低減し高出力化。
- ・内部回路の最短化，特殊回路構成。
- ・出力端子にブスバー方式を採用。
- ・特殊仕様のチャージコンデンサを採用。

である。

使用上のメリットは、

- ・着磁性の悪い高 H_c で、小径磁石への多極着磁に最適。
- ・通常電源使用時より 10～20% の磁力アップ。
- ・着磁ヨーク（コイル）への負荷が少なく（低発熱）長寿命化。
- ・小型コンパクトで省設置スペース。



Fig.8. Super low-impedance magnetizer.

であり，Sm-Fe-N 系ボンド磁石の特性を十分に引き出せる設計となっている。本電源はお客様での使い勝手を見ていただくため，当社でのデモンストレーションを受け付けている。

本電源の効果を示すため，Table 5 に示す極小径の Nd-Fe-B 等方性ボンド磁石 (NP-12L) について着磁テストを行った (Fig.9)。本電源により大きな電流を流すことができるようになり，着磁の難しい着磁極ピッチの狭い磁石でも，大きな表面磁束密度を得，磁粉の持つポテンシャルを引き出している。

5. まとめ

当社で開発した Sm-Fe-N 等方性ボンド磁石および着磁用電源について，技術データを紹介した。本製品は工業製品としてまだ新しいものであるが，それだけに今後のエコ社会，電動化されていく自動車部品などのニーズに対応できる磁石と考えている。時代の要請に応える磁石として今後も製品開発に注力していく予定である。

(文 献)

- 1) 大松澤亮，入山恭彦：電気製鋼，76（2005），209.
- 2) 大松澤亮，入山恭彦：まてりあ，44（2005），157.

製品 問合せ先

(株)ダイドー電子

〒108-0075 東京都港区港南 1-6-35 大同品川ビル

営業部 東京営業所

山田達正 :DEC-T-YAMADA@sog.daido.co.jp

TEL:03-5495-1851, FAX:03-5495-6759

〒461-0005 名古屋市東区東桜 1-1-10

アーバンネット名古屋ビル 21F

営業部 名古屋営業所

水野 誠 :DEC-M-MIZUNO@sog.daido.co.jp

TEL:052-963-7560, FAX:052-963-7561

Table5. Sample condition for magnetization test. (NP-12L)

Sample No.	No.1	No.2
Size	$\phi 2.4 \times \phi 0.8 \times 4.6$	$\phi 2.1 \times \phi 0.8 \times 1.8$
Magnetization pattern	Out side 10poles	Out side 12poles
Pitch of pole	0.75 mm	0.55 mm

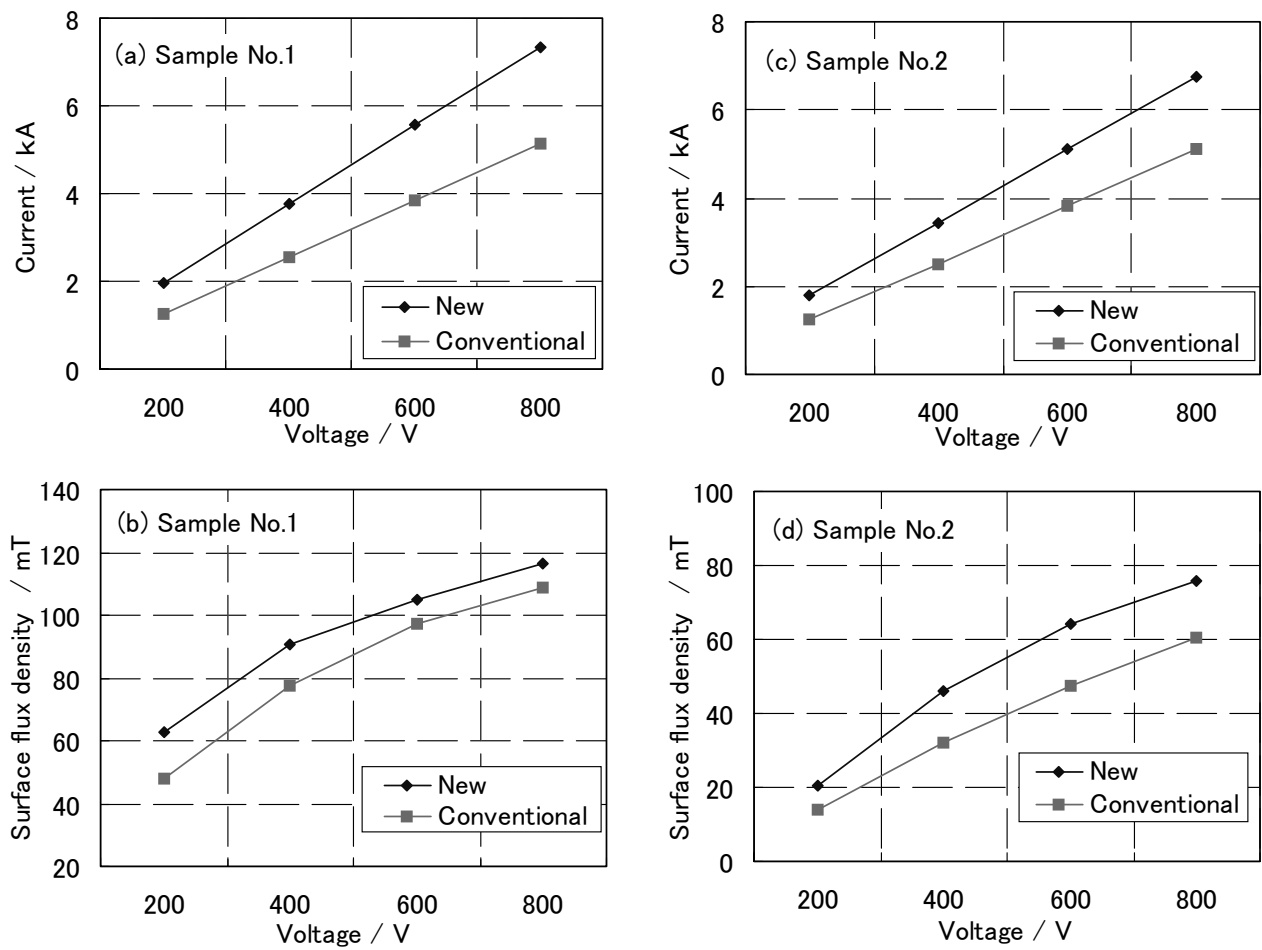


Fig.9. Magnetizing properties of present magnetizer.

- (a) I-V property of sample No.1.
 (b) Surface flux density vs. voltage property of sample No.1.
 (c) I-V property of sample No.2.
 (d) Surface flux density vs. voltage property of sample No.2.