

重希土フリー熱間加工磁石の開発

大同特殊鋼株式会社 技術開発研究所

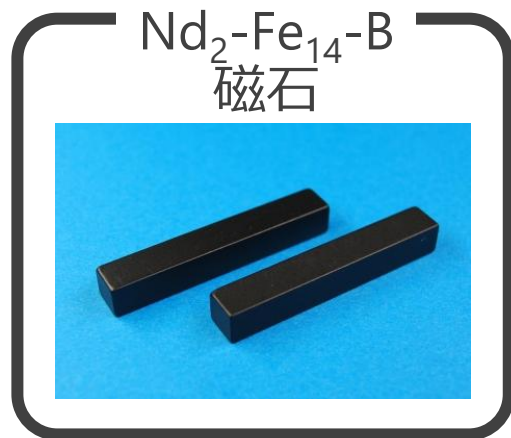
井上 圭介

開発の背景 -持続可能な磁石供給-

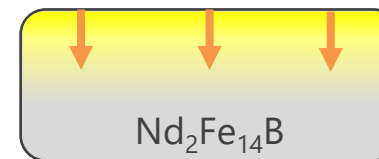
- 高磁力を有するネオジム磁石はハイブリッド車や電気自動車の駆動モータ向けの需要が急増
 - ネオジム磁石では耐熱性向上のため、一般的に**重希土類元素(Dy, Tb等)**が添加される
- ⇒旺盛な電動化需要に対し、カーボンニュートラルや資源リスクの観点からも、**持続可能な磁石供給**が望まれている

• xEVの需要増加

• CO₂排出量削減
2050年までに
カーボンニュートラル実現



耐熱性向上
一般的には**重希土類元素**を添加

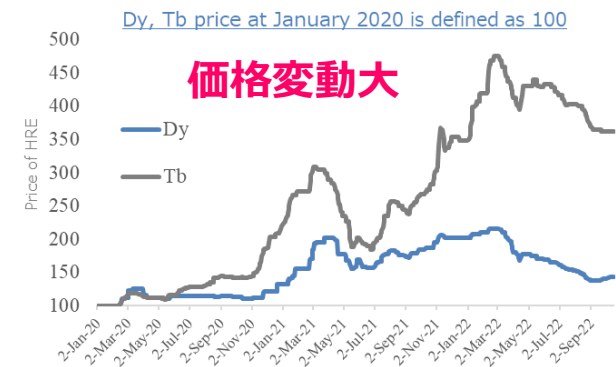


Nd₂Fe₁₄B
Dy / Tb
合金化 or 粒界改質(GBD)

重希土類元素の調達リスク
産地偏在性



重希土類元素市況トレンド

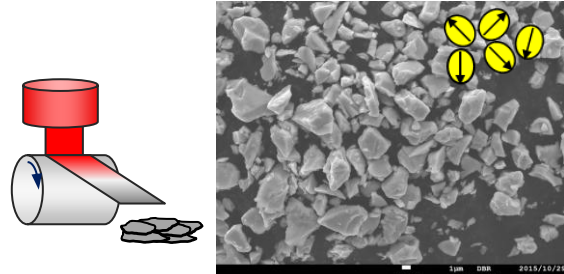
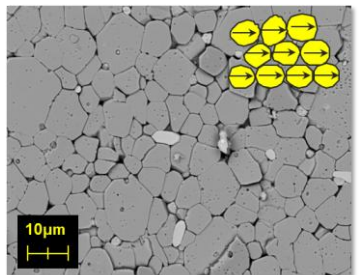
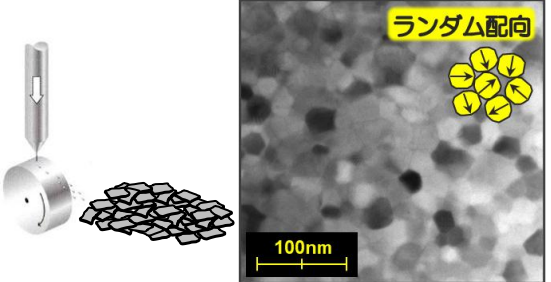
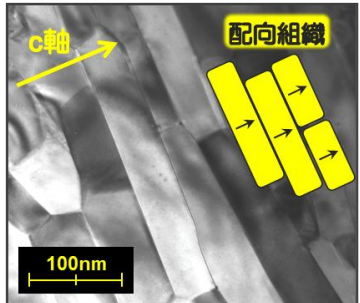


(出典：Argus Mediaレポートをもとに作成)

開発の背景 -微細結晶粒による高耐熱性化-

- ネオジム磁石の保持力（≒耐熱性）は結晶粒径を小さくすると向上する※1
- 単結晶粉末を原料とする場合、微粉化に伴う酸化などの影響を制御する必要がある。3 μm 以下で酸化により特性低下※1
- 熱間加工磁石の原料はナノサイズの結晶からなる粗粉（250 μm 程度）であり、酸化影響を受けづらく微細組織が得られる。

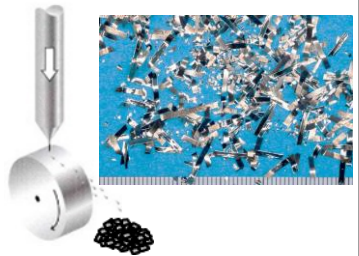

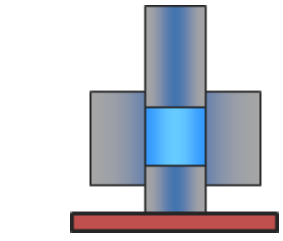
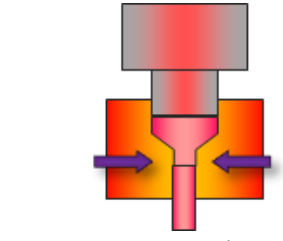

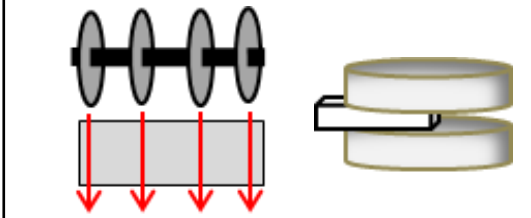
※1引用:宝野和博, あたりあ, 54, 7 (2015) 351.

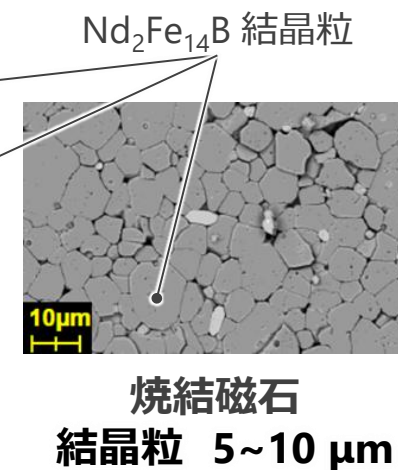
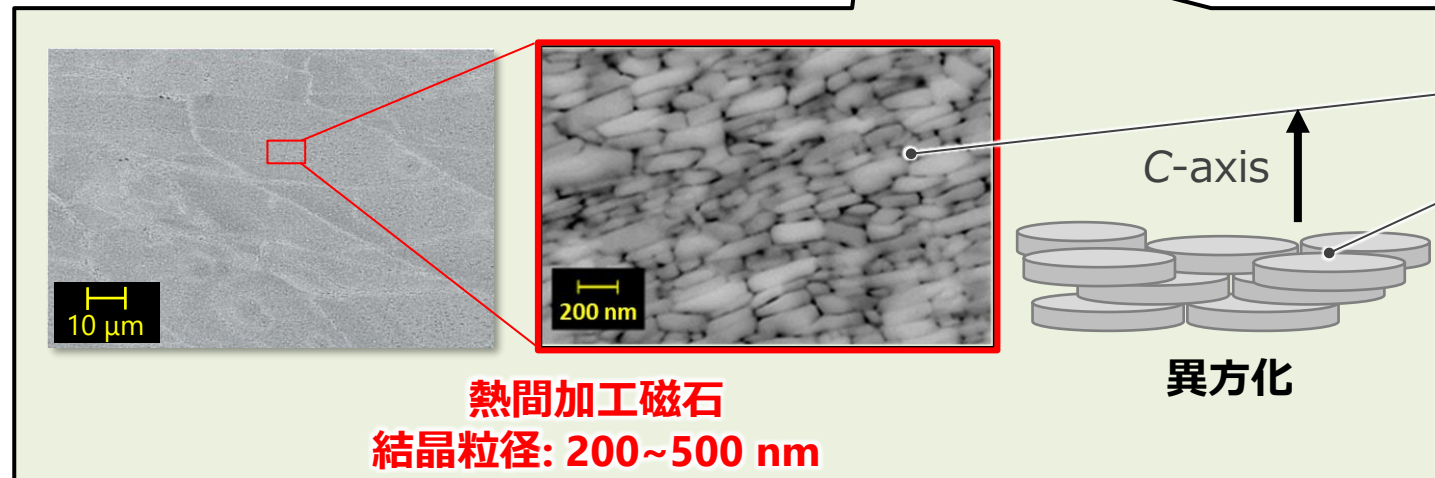
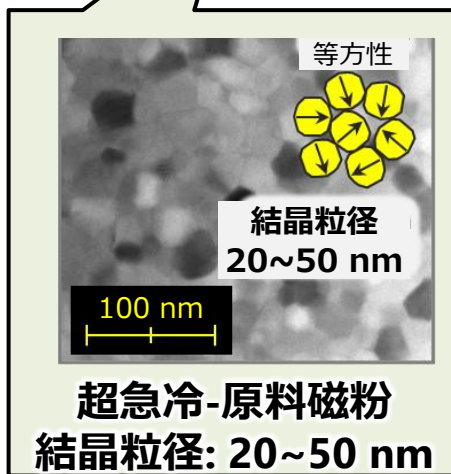
種類	原料製法	磁石製法	製品
焼結磁石	<p>ストリップキャスト法→微粉碎</p>  <p>粉末サイズ: 3~10μm 結晶サイズ: 同上(単結晶)</p>	<p>磁場配向→焼結 (~1100$^{\circ}\text{C}$)</p>	 <p>10μm</p> <p>微細組織磁石 (5~10μm)</p>
熱間加工磁石	<p>超急冷法→粗粉碎</p>  <p>粉末サイズ: ≒ 250μm 結晶サイズ: 20~50nm</p>	<p>熱間塑性加工 (~850$^{\circ}\text{C}$)</p>	 <p>100nm</p> <p>超微細組織磁石 (200~500nm)</p>

製造プロセスと微細組織

➤ 超微細な結晶粒(200~500 nm)を有し、重希土類元素(Dy, Tb)フリーでの高保磁力化が可能。

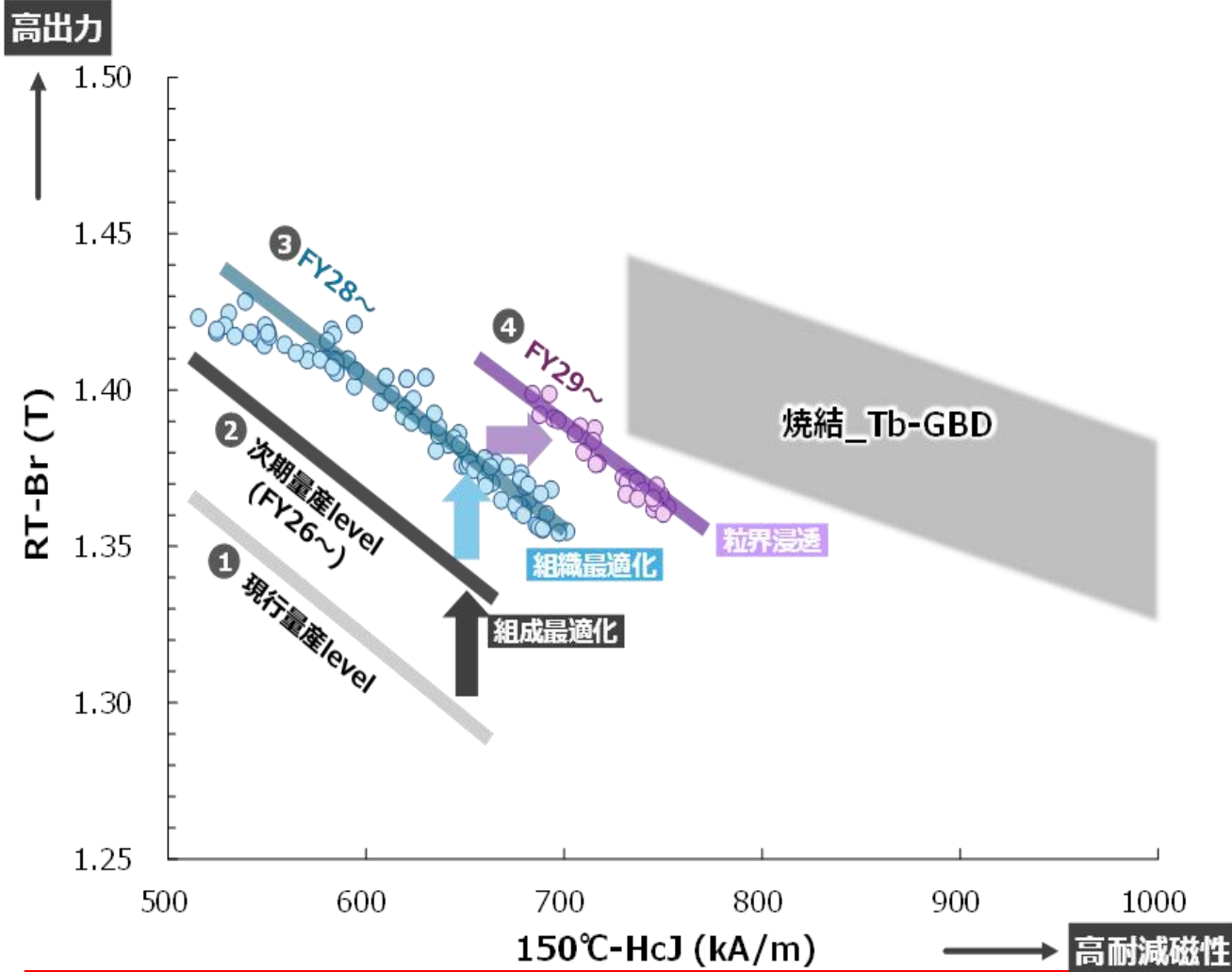
■ 熱間加工磁石の製造プロセス

超急冷	粗粉碎	冷間成形	熱間成形	時効処理	機械加工 (切断・研磨)
原料粉	原料粉	予備成形	サイズ調整・配向	組織均質化	
					



磁気特性位置づけと高特性化状況

- 2017年にHEV駆動用モータ用磁石として、世界で初めて重希土フリーで採用
- 現在までに、各種組織制御により特性向上を達成。ラボレベルでは下図④まで到達。
- BEV駆動モータ用等に向け、更なる特性向上を推進中。



主相率増加：保持力のためには結晶粒間にNdリッチ層を維持することが有効(※1)だが、Ndリッチ層が過剰だとBr低下を招くため、Ndリッチ層の適正化を図った

磁粉組織均質化：超急冷リボン内の冷却バラツキによる粗大結晶粒の生成を抑制

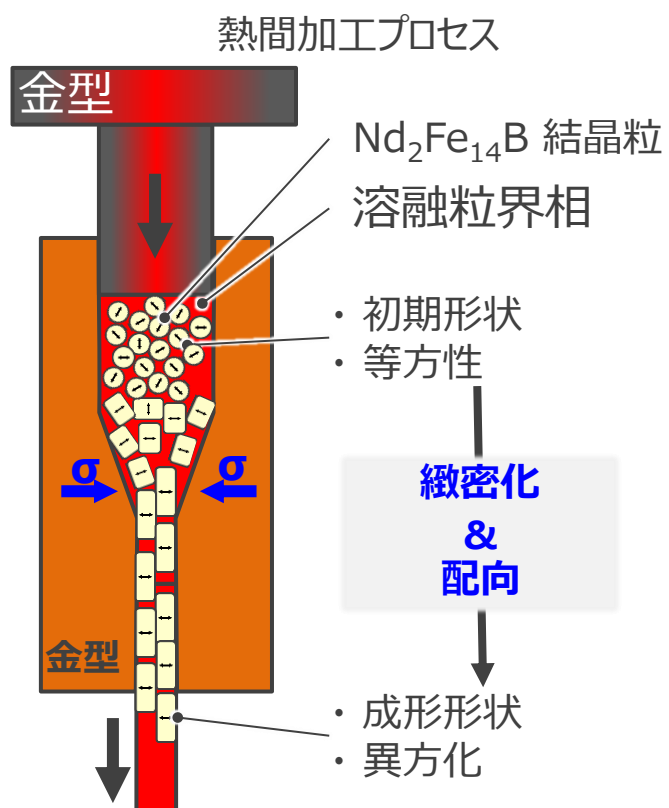
リボン断面 組織イメージ

改善前	改善後
フリー面	フリー面
ロール接触面	ロール接触面

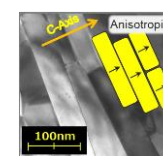
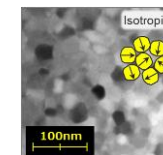
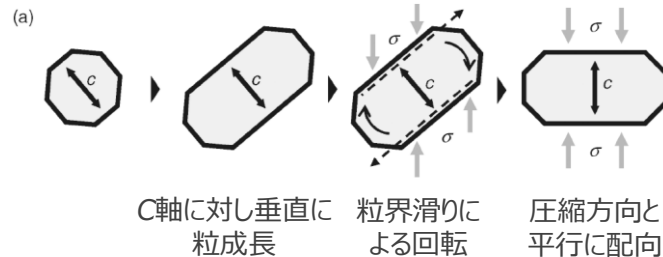
粒界改質(※2)：結晶粒の磁気的分断のため、粒界に軽希土合金を浸透

結晶粒配向メカニズムを活かした形状・配向自由度

➤ 高温塑性加工により、溶融した粒界相を媒介とした粒界滑りにより、扁平な結晶粒が同一方向に配列する。



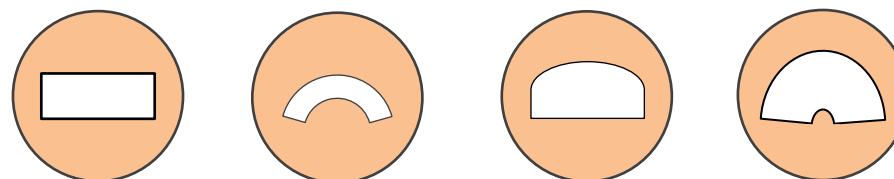
■ 配向メカニズム



⇒ 金型設計次第で、配向方向を制御
磁力の有効活用 / 耐減磁設計が可能

■ 形状制御

様々な金型形状



⇒ 金型設計次第で、磁石断面形状を自由に制御
ネットシェイプ加工（最終製品形状に近い）が可能

形状	板	リング	円弧	三日月/蒲鋒	円弧	円弧
配向	平行	ラジアル	ラジアル	ラジアル	極異方	周配向
イメージ						

7

形状・配向自由度を活かしたモータ特性向上

➤ 三日月形状×配向制御熱間加工磁石は、同じ磁石量の板磁石×平行配向磁石対比**最大トルク13%向上・高効率化**

<評価条件>

- ・最大電流：180 Arms
- ・電源電圧：600 V_{DC}+1パルス制御
- ・磁石温度：75 °C

トルク [Nm]

回転数 [krpm]

13%向上

三日月×配向制御

リファレンス
(板磁石×平行配向)

評価点1

評価点2

評価点3

回転数 [krpm]	リファレンス [Nm]	三日月×配向制御 [Nm]
0	165	185
2	165	185
4	165	185
6	150	170
8	100	115
10	75	85

効率 [%]

リファレンス

三日月×配向制御

+1.1%

+2.1%

+1.0%

評価点1

評価点2

評価点3

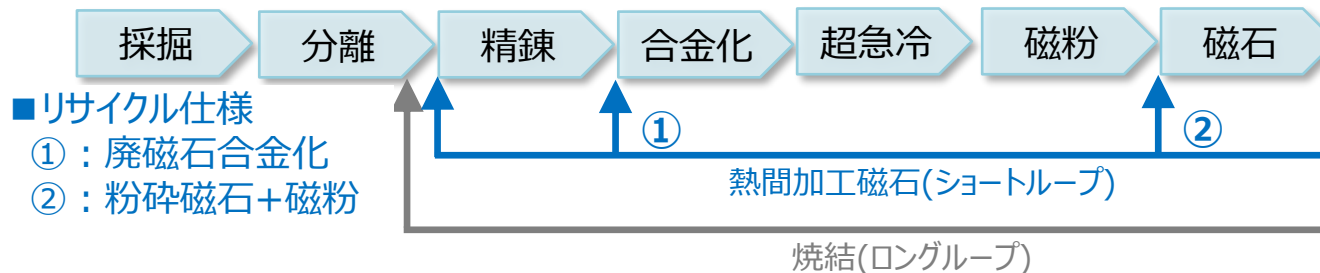
評価点	リファレンス [%]	三日月×配向制御 [%]	改善率 [%]
評価点1	94.5	95.6	+1.1%
評価点2	88.8	90.9	+2.1%
評価点3	95.5	96.5	+1.0%

DAIDO STEEL CO., LTD.

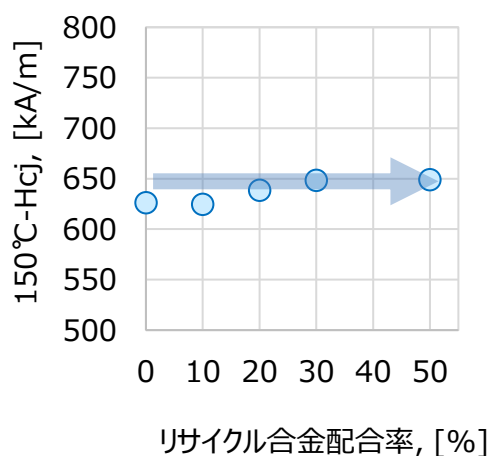
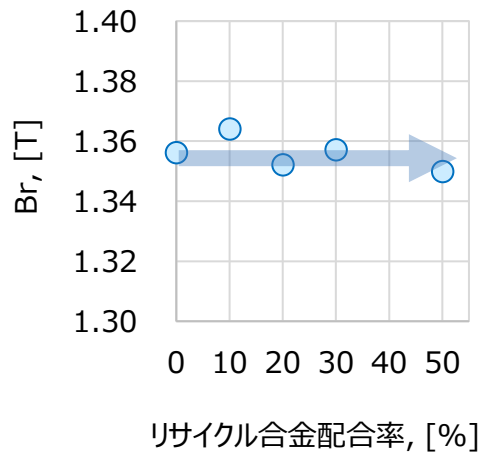
DAIDO STEEL GROUP
Beyond the Special

- 熱間加工磁石は重希土類元素の分離が不要なため**精練工程を必要としない**。このため、焼結磁石対比ショートループでリサイクルが可能。
- 加熱温度が低いため磁石製造時のCO₂排出量が焼結磁石対比で**最大△60%の削減**が可能。

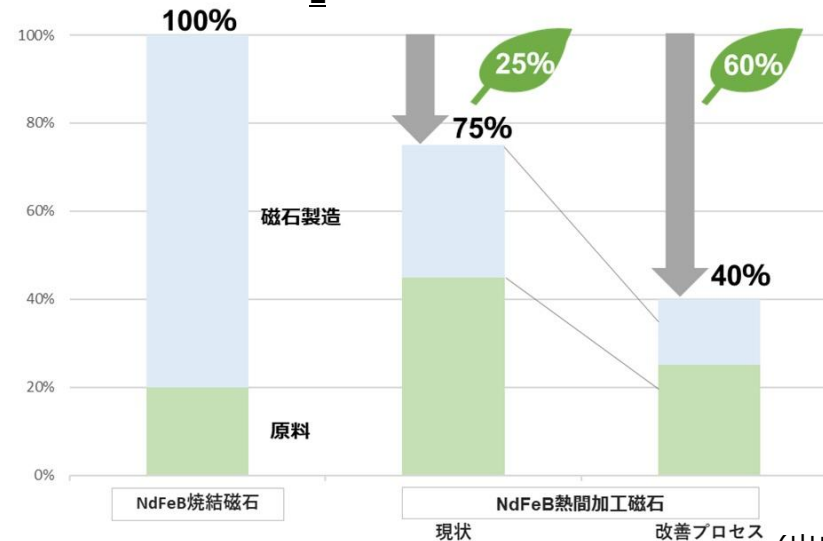
熱間加工磁石のリサイクルについて



磁石屑を合金化した際の影響(①ショートループ)



熱間加工磁石のCO₂排出量について



(出典：ダイドー電子 HP)

- 重希土類完全フリーで高耐熱性を実現
更なる高特性化を推進
- 形状・配向自由度により、効果的に
モータ特性向上に貢献
- リサイクルや製造時低CO₂排出により
環境負荷低減に貢献
- 更なるレアアース削減として、
省Nd化(MagHEM取り組み) など推進

