

2010年頃のプレゼン資料でデータは古いです。  
あくまでご参考です。

# 「Nd磁石の市場、用途と KRI分析評価技術」

(株)KRI

磁石材料研究室

山本日登志

[ymmt-hts@kri-inc.jp](mailto:ymmt-hts@kri-inc.jp)

# 佐川氏らによるNd磁石の世界最初の特許出願 1982.8.21.

## 特許公報； 昭61-34242

◎日本国特許庁(J.P.)		◎特許出願公告	
◆特許公報(日2)		昭61-34242	
発明の名称	永久磁石	発明の公表日	昭和59年(1984)8月6日
特許番号	昭57-145072	特許出願日	昭和57(1982)8月21日
発明者	佐川 寛人	特許代理人	加藤 明彦
代理人	加藤 明彦	発明の種別	2 (金1頁)

◎特許請求の範囲

1 原子百分比で、Nb, Pr, Dy, Ho, Tbから成る希土類元素のうち少なくとも一種B〜30%、B2〜20%及び機能的にFeから成り、磁気異方性結晶体であることを特徴とする永久磁石。

2 原子百分比で、Nd, Pr, Dy, Ho, Tbから成る希土類元素のうち少なくとも一種(但し希土類元素の50%以上はNdとPrの1種又は2種)12〜20%、B4〜24%及び機能的にFeから成ることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の永久磁石。

3 原子百分比で、Nd, Pr, Dy, Ho, Tbから成る希土類元素のうち少なくとも一種とBa, Ca, Pb, Sr, Eu, Cd, Er, Tm, Yb, La, Yから成る希土類元素のうち少なくとも一種の合計B〜30%、B2〜20%及び機能的にFeから成り、磁気異方性結晶体であることを特徴とする永久磁石。

4 原子百分比で、Nd, Pr, Dy, Ho, Tbから成る希土類元素のうち少なくとも一種とBa, Ca, Pb, Sr, Eu, Cd, Er, Tm, Yb, La, Yから成る希土類元素のうち少なくとも一種の合計(但し希土類元素の50%以上はNdとPrの1種又は2種)12〜20%、B4〜24%及び機能的にFeから成ることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の永久磁石。

5 希土類元素のうち少なくとも一種とBa, Ca, Pb, Sr, Eu, Cd, Er, Tm, Yb, La, Yから成る希土類元素のうち少なくとも一種の合計(但し希土類元素の50%以上はNdとPrの1種又は2種)12〜20%、B4〜24%及び機能的にFeから成ることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の永久磁石。

この国内特許と他の特許とを合わせて、米国に優先権を主張して出願したものが、米国ではサブマリンして、最終的に  
 USP: 5,645,651 「  
 Magnetic materials and permanent magnets」  
 として、  
 July 8, 1997に登録されて、あと17年間有効とされたため、結局2014年まで生き残る息の長いNd磁石の基本特許となった。  
 (合計35年間有効)  
 米国の651パテントとして著名である。

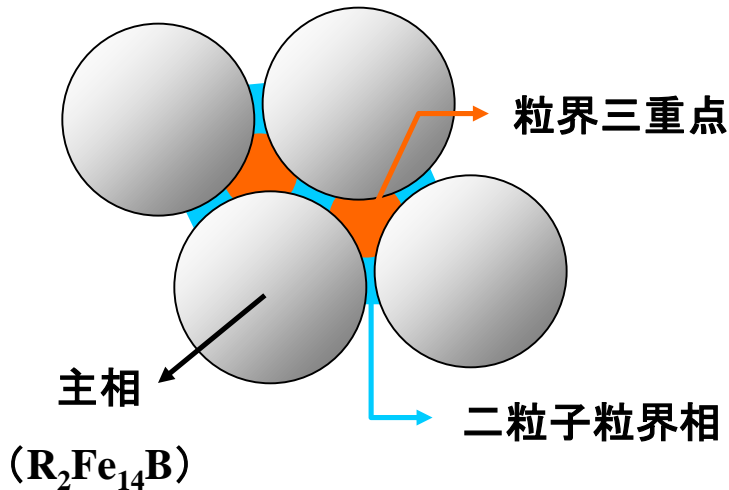
\* 2011BM30周年記念シンポジウム、浜野正昭講演(2011.12.9)

浜野正昭  
 日本ボンド磁性材料協会 理事・技術委員・寺子屋BM塾塾長  
 社団法人 未踏科学技術協会 評議員・特別研究員  
 明治大学 理工学部 電気電子生命工学科 兼任講師

# R<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの磁気特性

R <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B化合物	飽和磁化 I <sub>s</sub> (T)	キュリー点 T <sub>C</sub> (K)	異方性定数 K(MJ/m <sup>3</sup> )	異方性磁界 H <sub>A</sub> (MA/m)	(BH) <sub>max</sub> 理論値 (kJ/m <sup>3</sup> )
Y <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	1.42	571	1.41	1.59	400
Ce <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	1.17	422	1.76	2.39	272
Pr <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	1.56	569	6.79	6.93	484
Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	1.6	586	5.36	5.33	509
Sm <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	1.52	620	plane	–	460
Gd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	0.893	659	1.12	2	158
Tb <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	0.703	620	7.73	17.51	98
Dy <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	0.712	598	5.34	11.94	100
Ho <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	0.807	573	3.03	5.97	129
Er <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	0.899	551	plane	–	160
Tm <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	0.925	549	plane	–	263
Lu <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	1.183	535	–	–	280

# 残留磁束密度Brの支配要因



主相 : R<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B磁性相。磁気特性を担う。  
二粒子粒界相 : 主相間のバインダー的役割。  
粒界三重点 : Rリッチ相, Bリッチ相,  
その他不純物相で形成。

## Nd-Fe-B焼結磁石の内部組織(模式図)

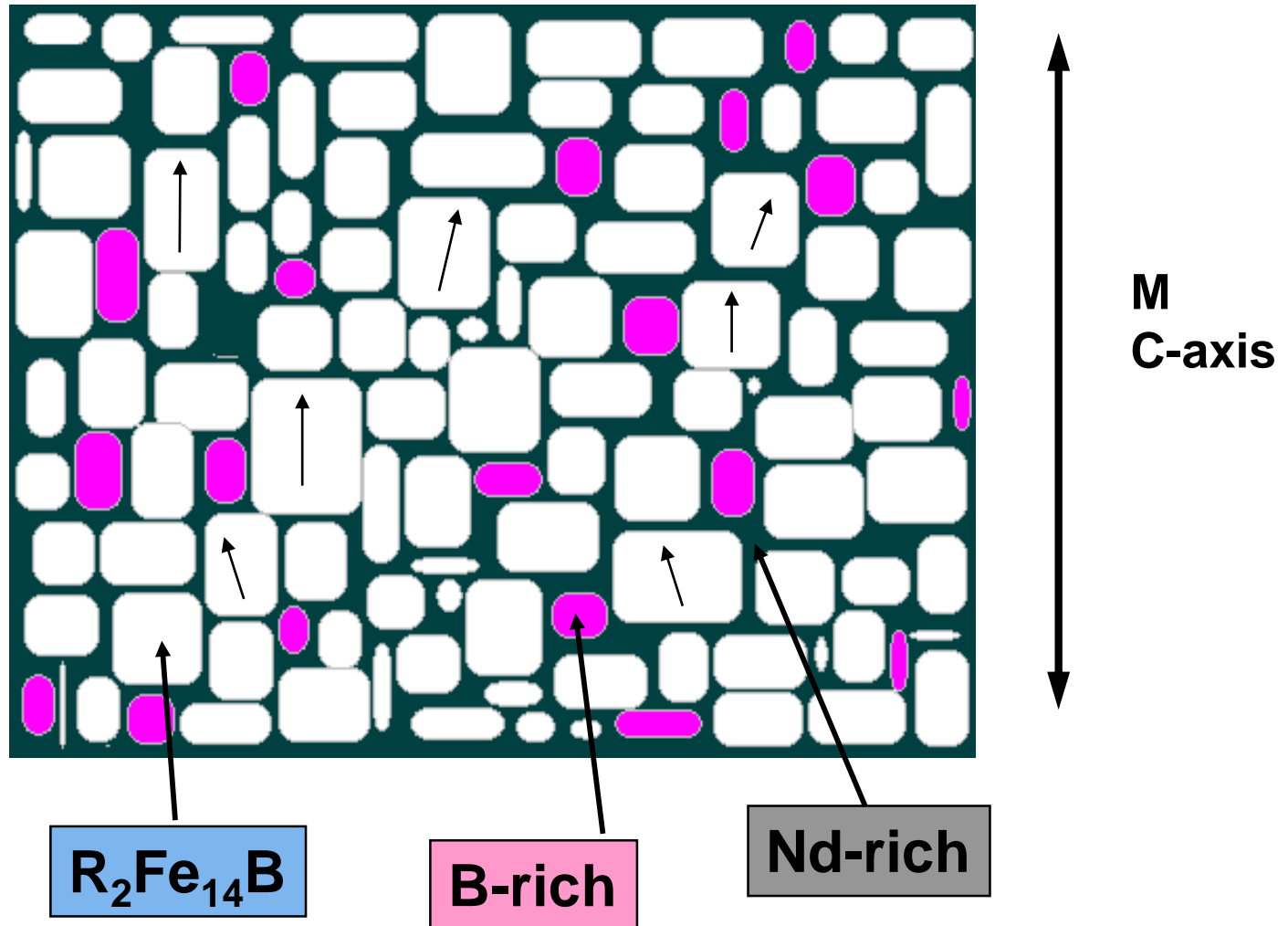
$$\text{残留磁束密度 } Br = J_s \times f \times A$$

$J_s$  : 主相の飽和磁化

$f$  : 主相の体積比率

$A$  : 主相の結晶配向度

# 焼結Nd磁石の金属組織模式図



# 保磁力の支配要因

$$\text{固有保磁力 } H_{cJ} = c \times H_A - N \times J_s$$

$H_A$  : 異方性磁界

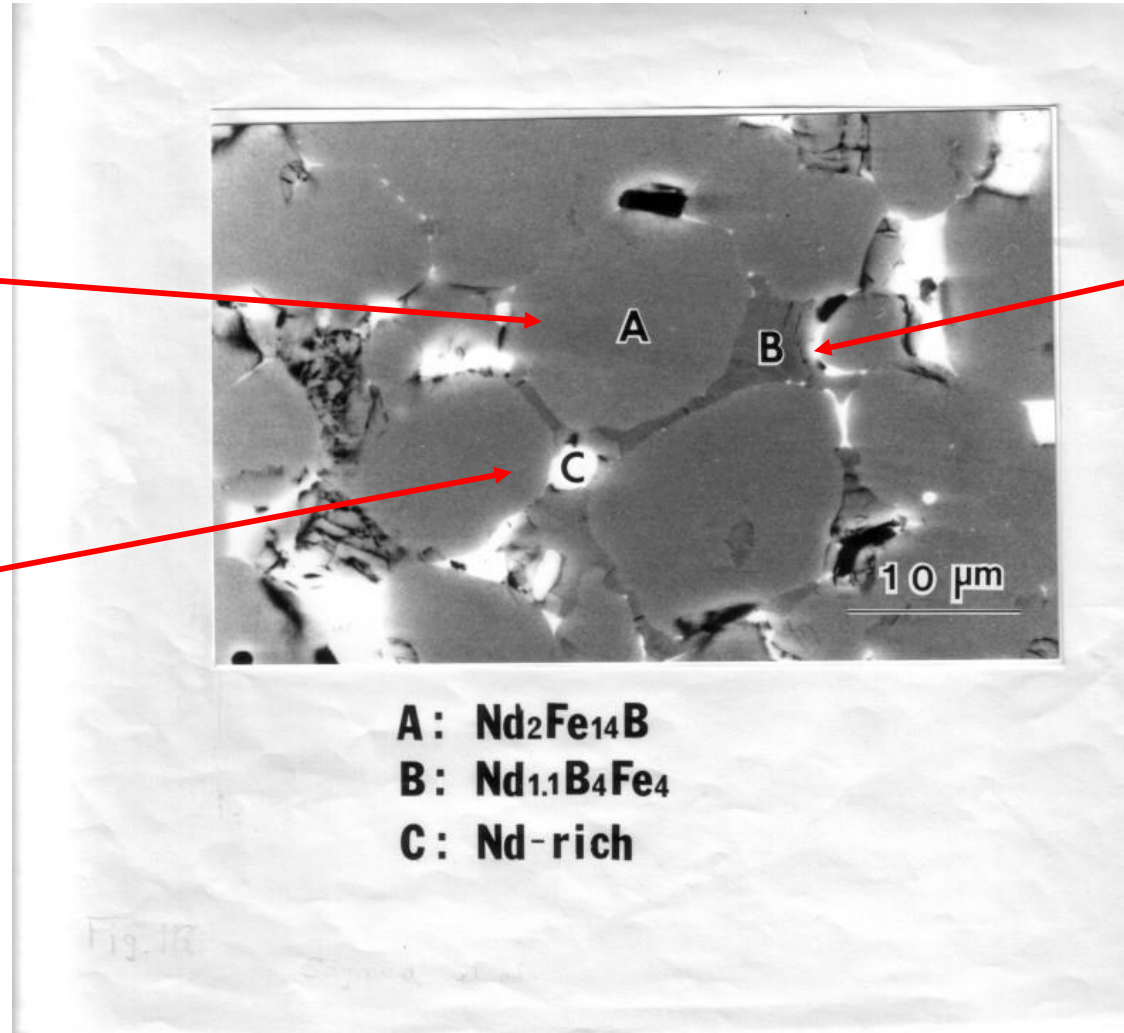
$J_s$  : 飽和磁化

} 主相の組成で決まる物性値

$c$  : 磁石組織に依存する係数 } 主に結晶形状・粒界構造

$N$  : 局所反磁界係数 } に依存した係数

# 焼結Nd磁石のXMA金属組織



$R_2Fe_{14}B$

B-rich

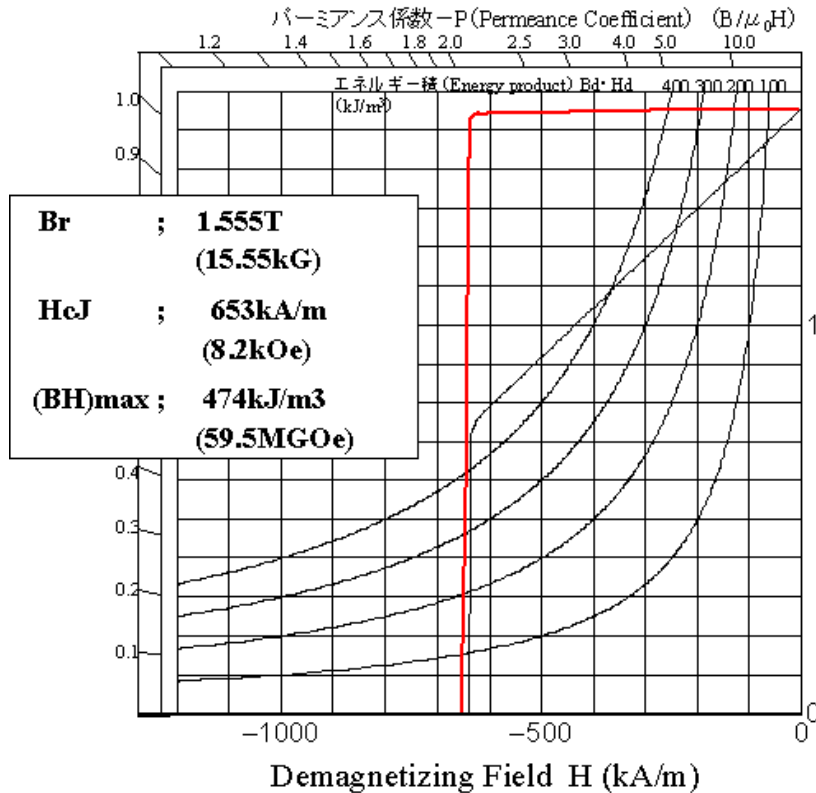
Nd-rich

A:  $Nd_2Fe_{14}B$

B:  $Nd_{1.1}B_4Fe_4$

C: Nd-rich

# The strongest Nd-Fe-B magnet in the world



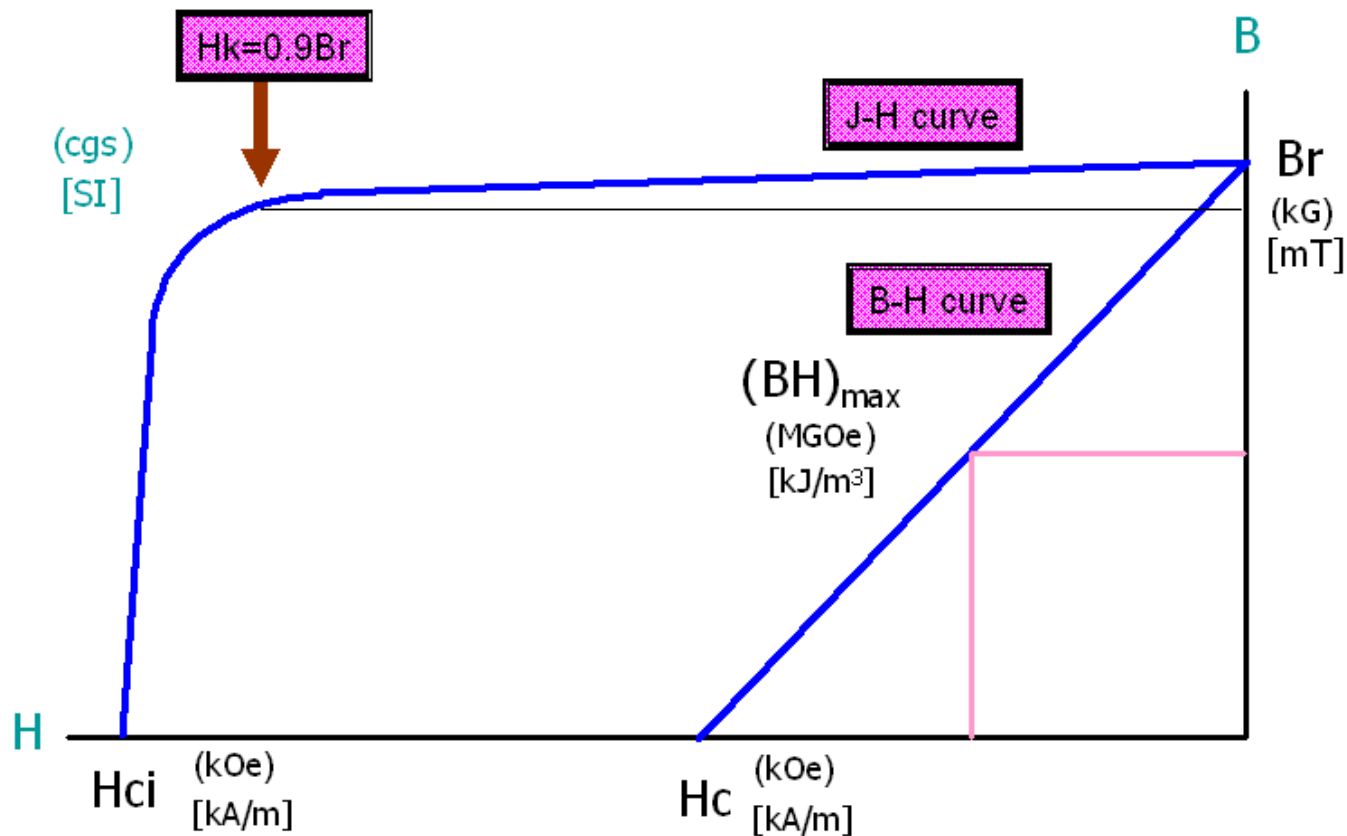
- **Energy Products**  
(BH)max : 474 ( $\text{kJ/m}^3$ )
- **Residual Flux (Br)**  
1.555 (Tesla)
- **Coercive Force ( $H_{cJ}$ )**  
653 (kA/m)

**B-H and  $J(4\pi I-H)$  curves**

**\* developed in Hitachi Metals Ltd. (2005)**



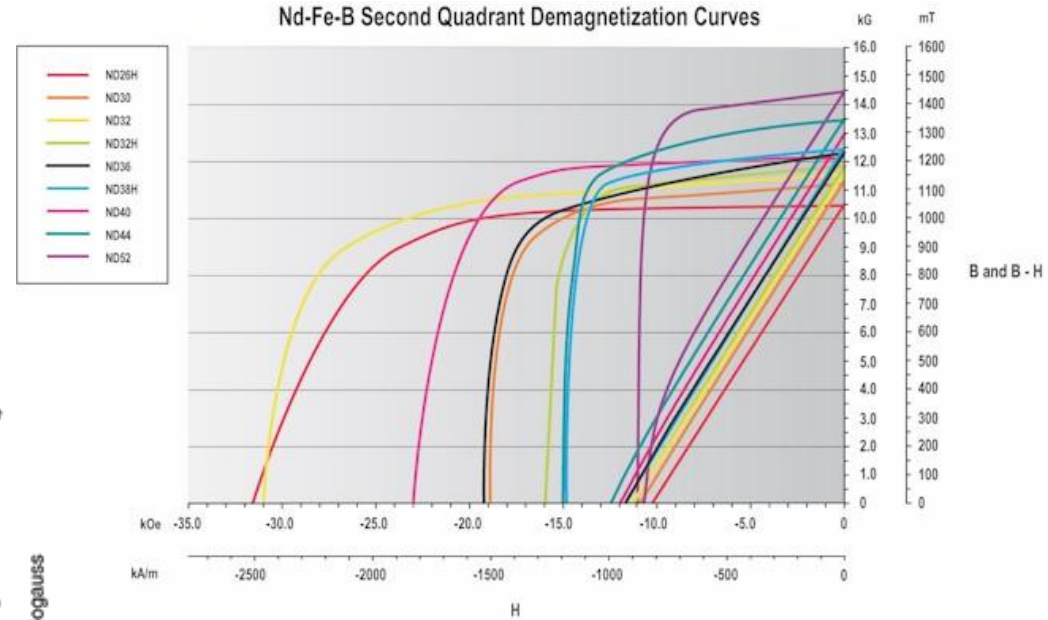
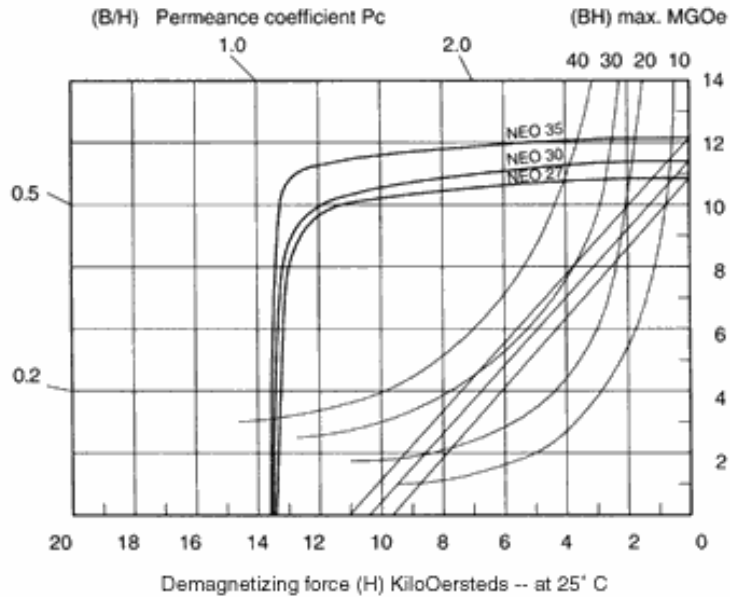
# 減磁曲線とHk(角型性)



**Hkが大 → 熱安定性に優れる**

# 中国磁石のBHカーブ例

## Neodymium Magnets



# Dy量と高保磁力材質

- Dy量、 $H_a$ (異方性磁界)、保磁力はほぼ比例
- 一方Dy量に比例して、 $B_r$ は直線的に低下

Dy量と保磁力( $H_{cJ}$ )の関係簡便式  
(山本)

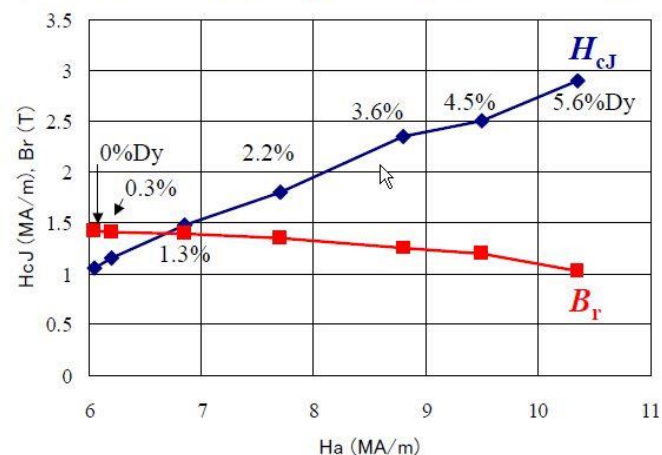
$$H_{cJ} = (2.3 \sim 2.6) \cdot X + (8 \sim 10)$$

$H_{cJ}$ : 保磁力(kOe)  
X; Dy量(wt%)

例えば

X=0 wt%	Y=8~10 kOe
X=3 wt%	Y=14.9~17.8 kOe
X=5 wt%	Y=19.5~23 kOe

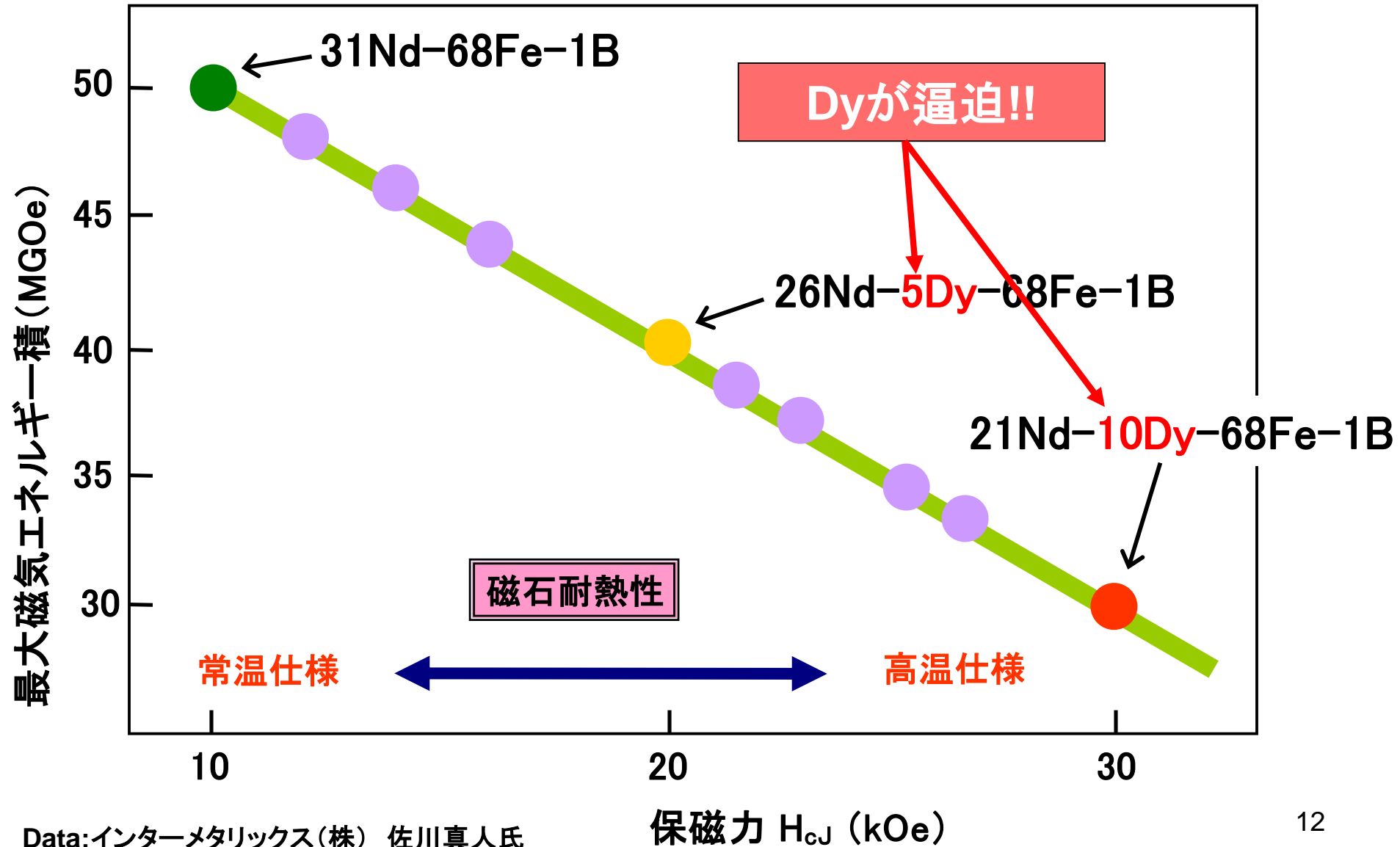
異方性磁界と保磁力  
(異方性磁界 $H_A$ はDy添加で増加)



2005年10月24日

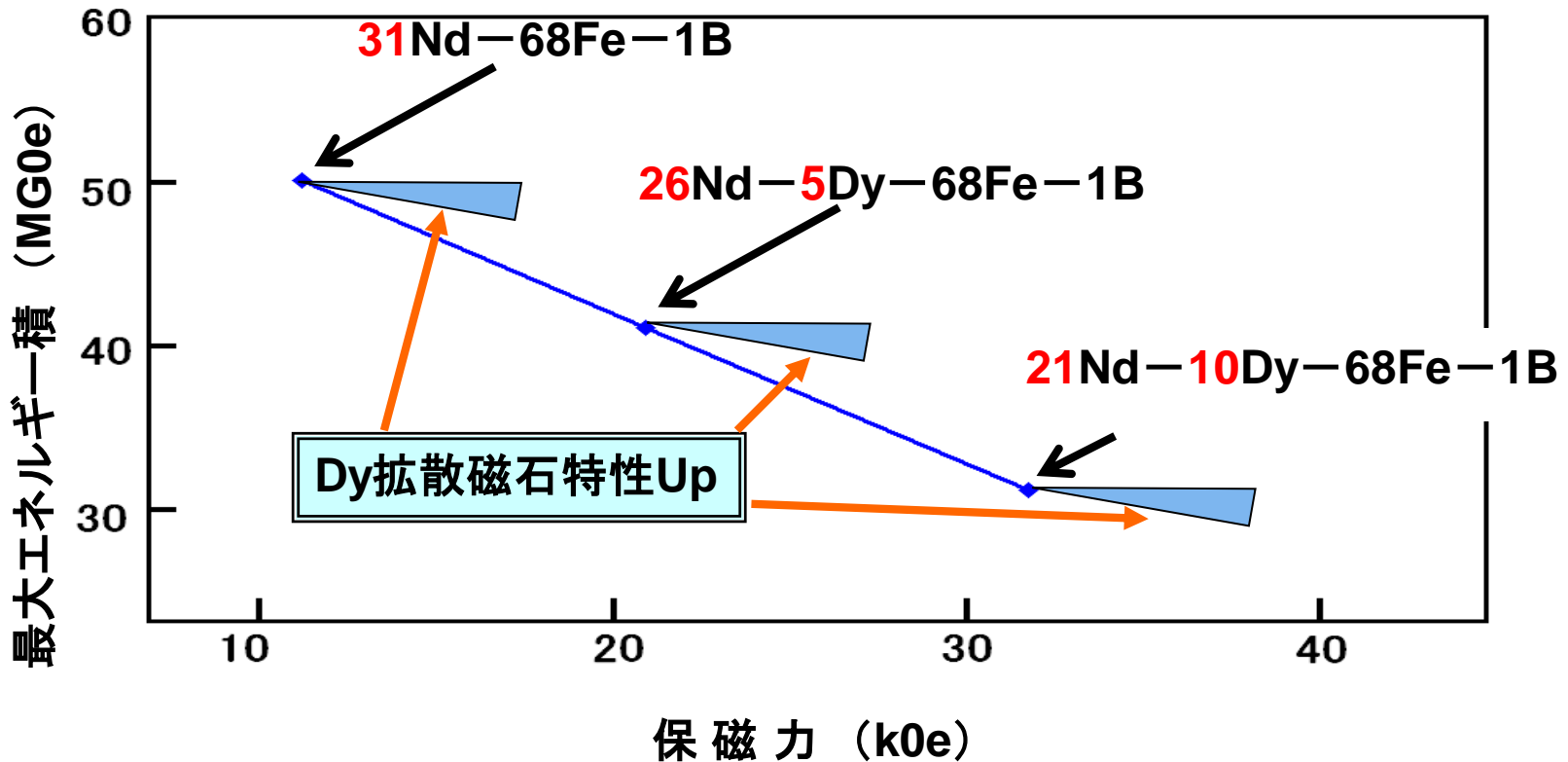
(社) 電子情報技術産業協会  
マグネットセミナー

# ネオジム磁石の組成 (wt%)



# 保磁力とDy量の関係

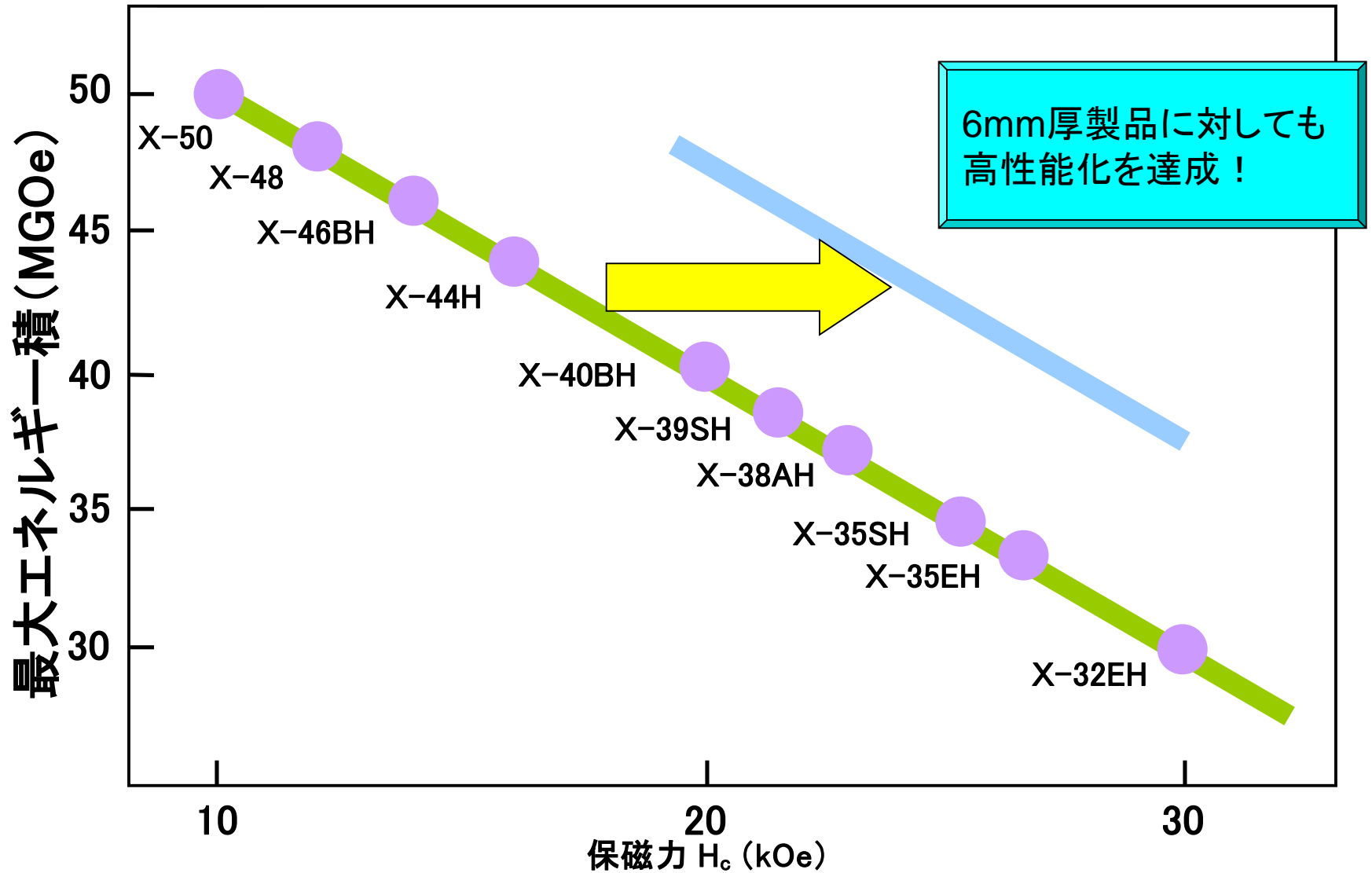
## NdFeB磁石の組成（重量%）



佐川 , 2008 JABM国際シンポジウム講演要旨

\* Dy拡散磁石(青三角)は山本追記

# 粒界拡散後の磁気特性



Data; Intermetallics 佐川真人氏

# 中国と日本のプレス成型の違い

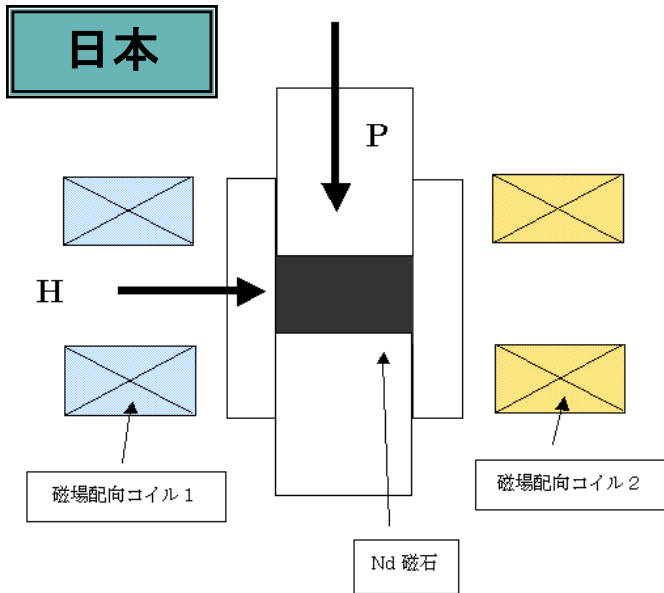
1段プレス成型 vs 2段プレス成型

中国

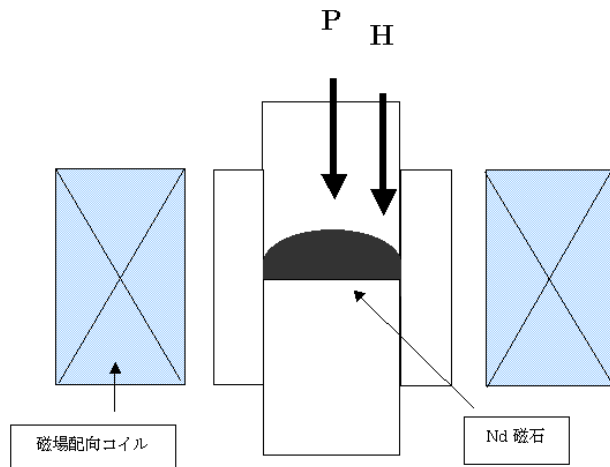
- 2段プレス成型  
1段目; 直角仮成型  
2段目; CIP (Cold Isostatic Press)

2段成型採用の理由(推定);

- ① 金型設計能力
- ② 高品質金型材料が入手難
- ③ ブロック販売への容易な対応性
- ④ 金型費無料の営業利点
- ⑤ 安価な加工費、労働力



IPM モータ用 Nd 磁石の成型模式図 (直角プレス方式)



SPM モータ用 Nd 磁石の成型模式図 (平行プレス方式)

# 中国製造工程： 成型工程(2)



## グローブボックスを利用した磁場成形機例

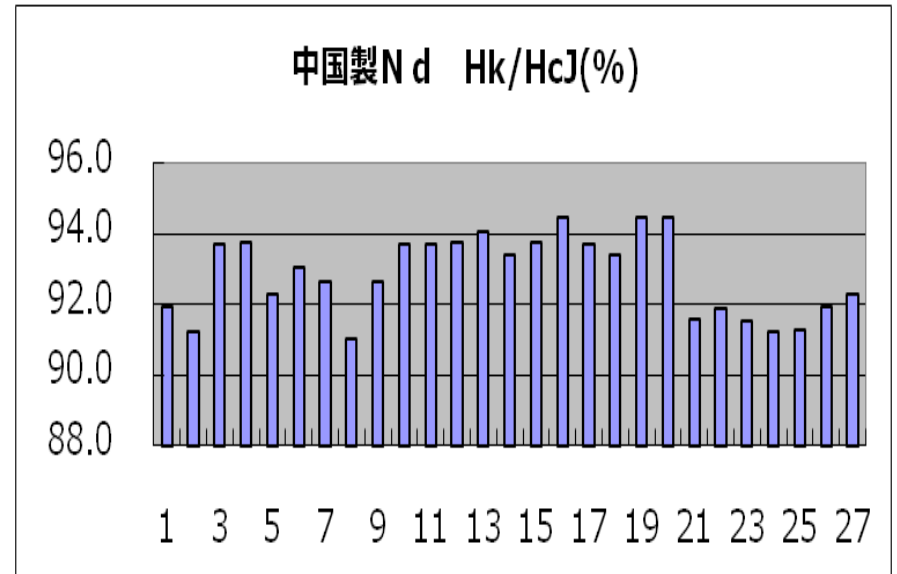
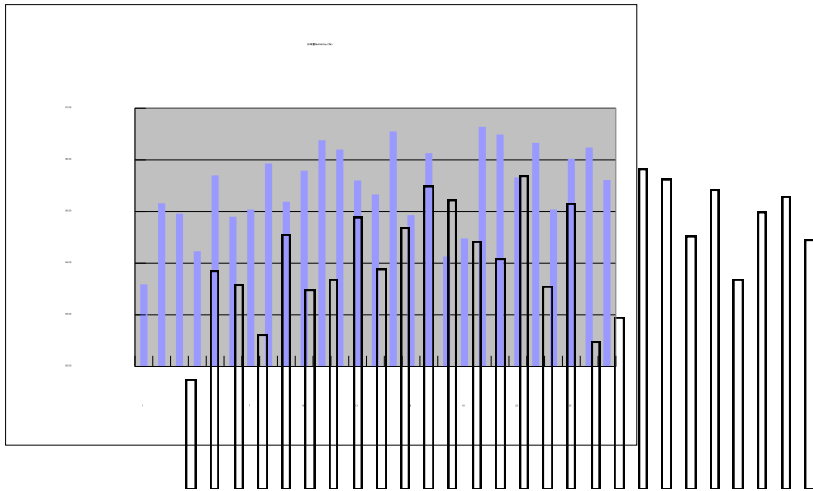
中国では包頭希土研究院、煙台磁王等でグローブボックスを多用した人海戦術で1990年代から低酸素化工程を実施していた



# 国内製と中国製のHkの分布比較(N社例)

材質：国内40MGO相当材  
寸法：50x50x50mm

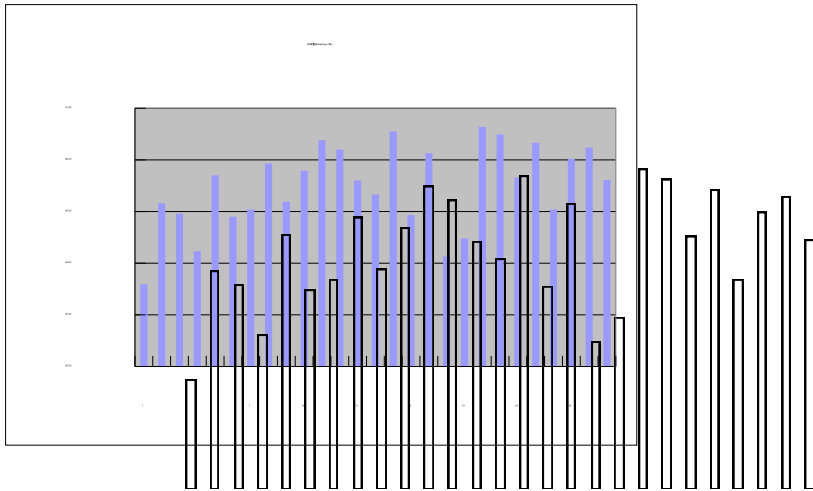
材質：中国34EH相当材  
寸法：概略50x50x50mm



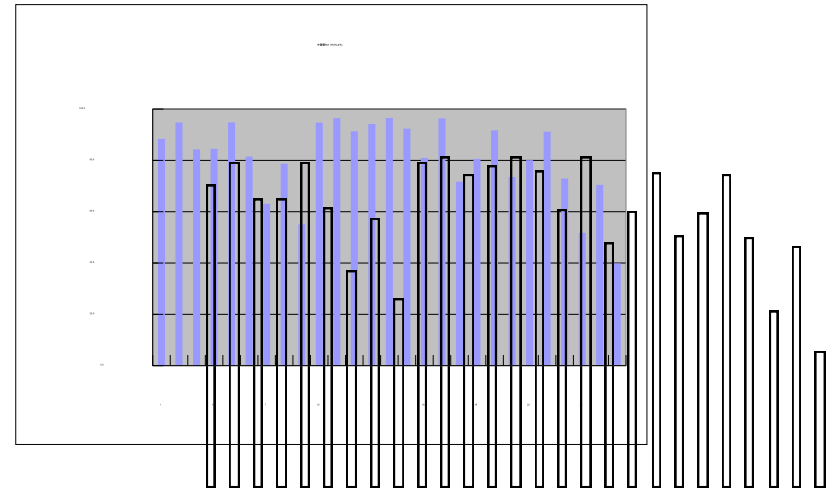
比較的良好なHk

# 国内製と中国製のHkの分布比較(Z社例)

材質； 国内40MGO相当材  
寸法； 50x50x50mm

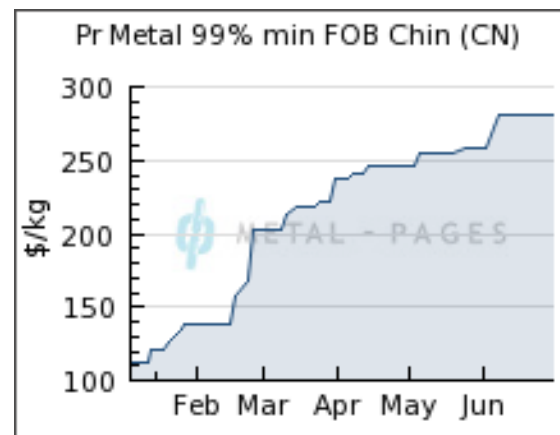
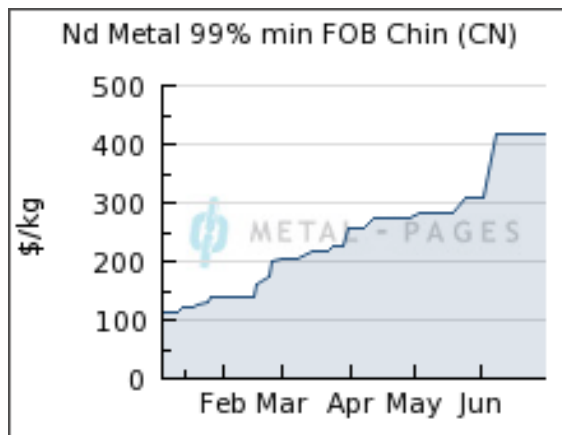


材質； 中国35H相当材  
寸法； 概略50x50x50mm

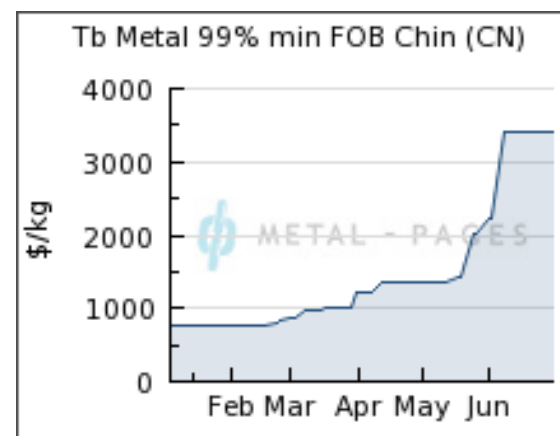
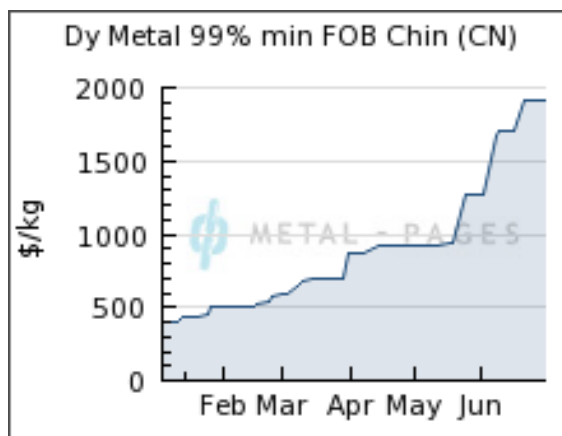


かなりバラツキの大きいHk

# (旧) 希土類の価格推移 (Aug/2009-July/2011)

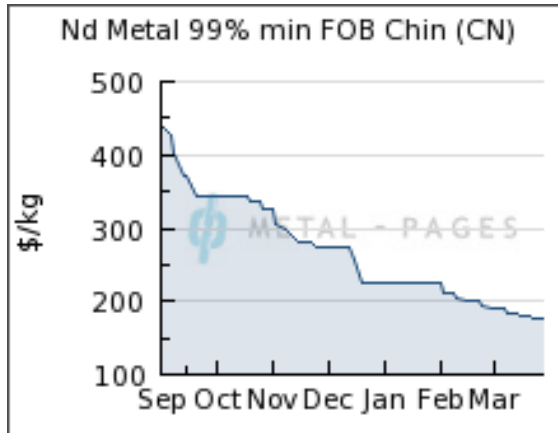


**Nd; 20→60→110→420\$/kg**      **Pr; 20→60→110→280\$/kg**

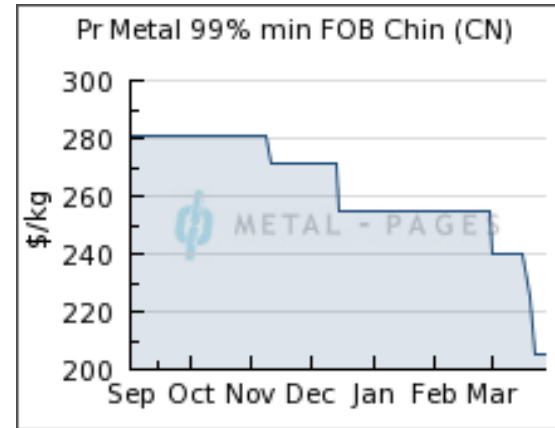


**Dy; 150→400→1,400\$/kg**      **Tb; 520→760→3,400\$/kg**

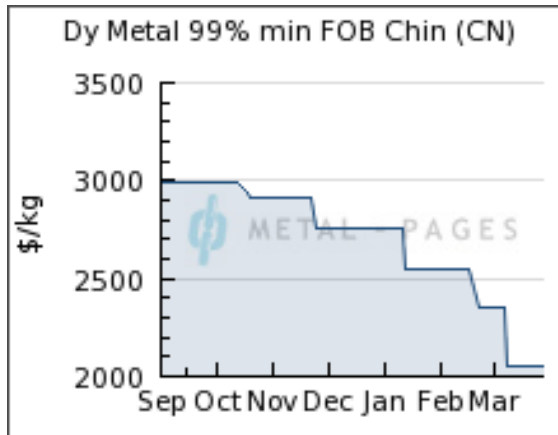
# 直近の希土類の価格推移 (Sept/2011-March/2012)



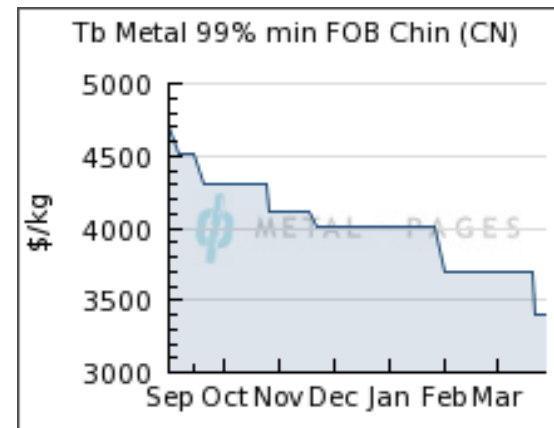
**Nd; 440→140\$/kg**



**Pr; 280→205\$/kg**



**Dy; 3,000→2,050\$/kg**



**Tb; 4,600→3,400\$/kg**

## 1. 希土類原料事情

- 現在の世界の希土類供給は97%以上中国
- 中国は環境問題対応、国内産業育成の名目で近年E/L(輸出ライセンス)枠を急激に削減
- 一方希土類資源は、地球上約800年存在
- 世界各国で資源探索、採掘の動きが加速
- Ndは価格低下、Dyの価格は高値安定？(KRI推定)

## 2. 日本国内磁石原料及びメーカーの動向

### <技術動向>

- Dy拡散技術によるDy使用量の低減  
NEDO; 30%削減目標  
磁石メーカー; 開発中で、既に量産化
- 結晶粒微細化技術によるDy量削減

### <原料調達>

- 中国合併会社の設立、生産量拡大
- USA、ベトナム等の鉱山採掘、希土類製造等に出資

### <値上げ>

- 信越化学; 40%値上げ(July2011)  
他社も追隨の動き

### 3. 磁石ユーザの動向

#### <動向>

- 原料調達分野に新規参入 & 出資
- E/L枠規制の無い中国現地Nd磁石メーカーの購入加速
- 中国Nd磁石メーカーに出資
- Nd磁石使用量低減したモータ、発電機の研究 & 開発
- Nd磁石からフェライトへの一部代替設計
- 磁石を全く使用しないモータ、発電機の研究 & 開発

# 最新磁石業界(2012.4)

## 1.学会発表

Nd磁石のDy削減に関する研究が主流

(Dy拡散、2合金、粒界改質、微結晶技術、粒界第一原理計算)

\* 去年のRE高騰の影響でDy拡散の関心は薄い。

さらにその先のDy-free研究発表の愛知製鋼、大同特殊鋼の発表が注目。

## 2. 国プロ

第一次元素戦略プロ終了(3/2012)、新元素戦略の枠組み始動。

JST「革新的次世代高性能磁石創製の指針構築」

大学&国研;

東北大、東北大金研、秋田大、山形大、静岡理工、京大、高エネの計7拠点

## 3. 磁石ユーザ(汎用、家電、自動車)

RE高騰の影響大。“Nd磁石離れ”あらゆる設計変更の動き

SmCo需要急増、Ndからボンド、フェライト

PMモーターもリラクタンス重視型に設変

\* Dy拡散はNd磁石離れの歯止めにはならず、限定的



# 中国焼結Nd磁石主要メーカー

- 北京中科三環高技術股份有限公司  
(Beijing Zhong Ke San Huan High-Tech Co.,Ltd)
  - 1) 天津三環樂喜新材料有限公司(天津)
  - 2) 三環瓦克華磁製器件有限公司(北京)
  - 3) 寧波科寧達工業有限公司(寧波)
  - 4) 肇慶三環京粵磁材有限責任公司(廣東)
- 北京京磁技術公司 (北京)  
(Beijing Jingci Magnetism Technology Co.)
- 安泰科技股份有限公司 (北京)  
(Advance Technology & Materials Co., Ltd)  
\* 分社: 寧波、包頭
- 北京銀納金科科技有限公司 (北京)  
(Thinova Co., Ltd.)
- 寧波韵升股份有限公司 (寧波)  
(Ningbo Yunsheng Co., Ltd.)
- 橫店集團東磁股份有限公司
- 寧波永久事業有限公司
- 煙台首鋼磁性材料股份有限公司
- 煙台正海磁性材料有限公司
- 寧波金鷄釹鐵硼強磁材有限公司

# 寧波(浙江省)-Ninbo



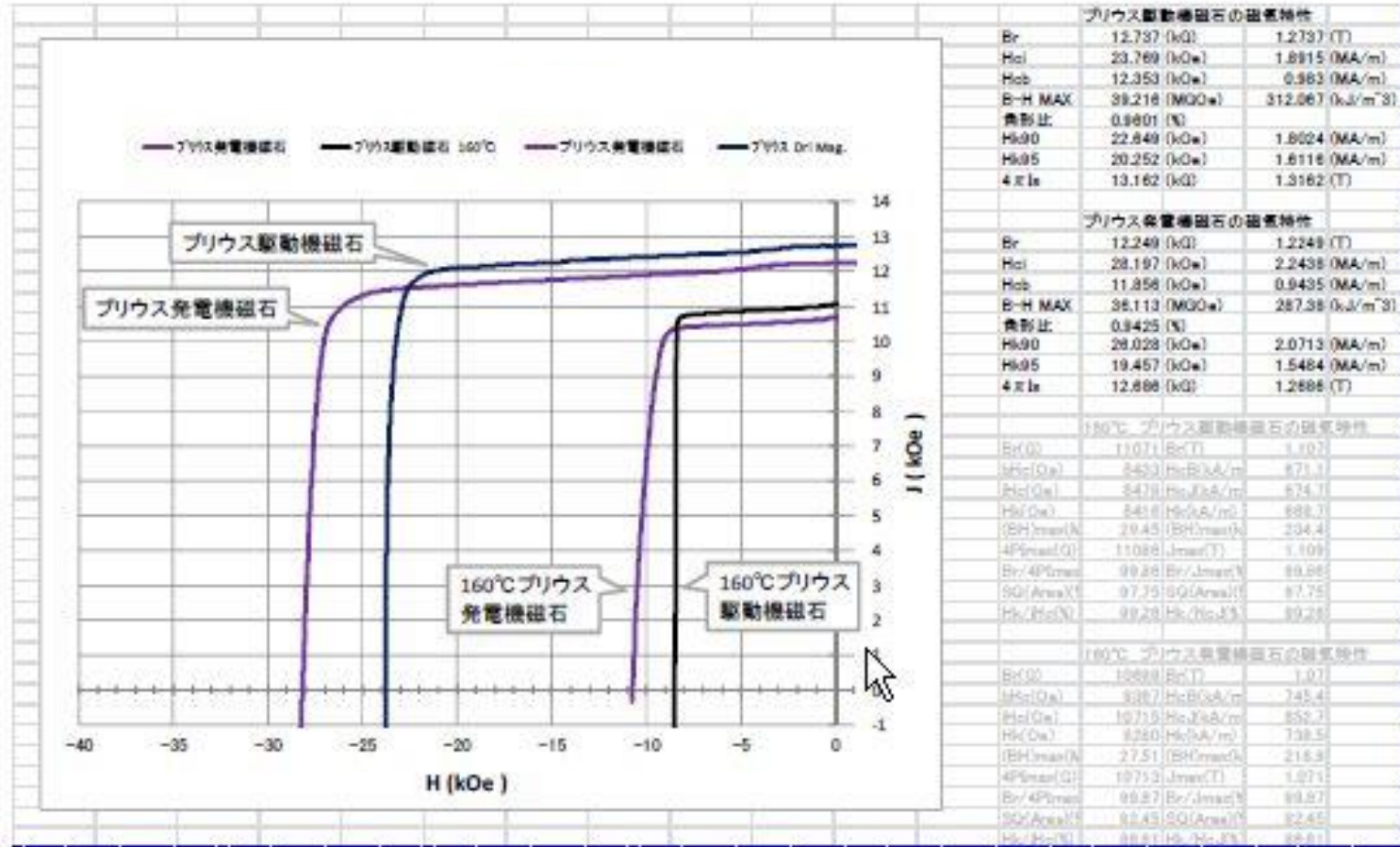
- 人口; 560万人(2007)
- 面積; 9,400km<sup>2</sup>
- 地理; 杭州湾南岸の港湾都市
- 歴史; 7000年前に稲作(世界最古)  
遣唐使の時代以降、日本と交流深い
- 気質; 勤勉、独立心旺盛、器用
- 食べ物; 魚介類多、薄い塩味  
(日本人駐在員に最も好まれる味付け)

**Nd磁石製造メーカー多数**

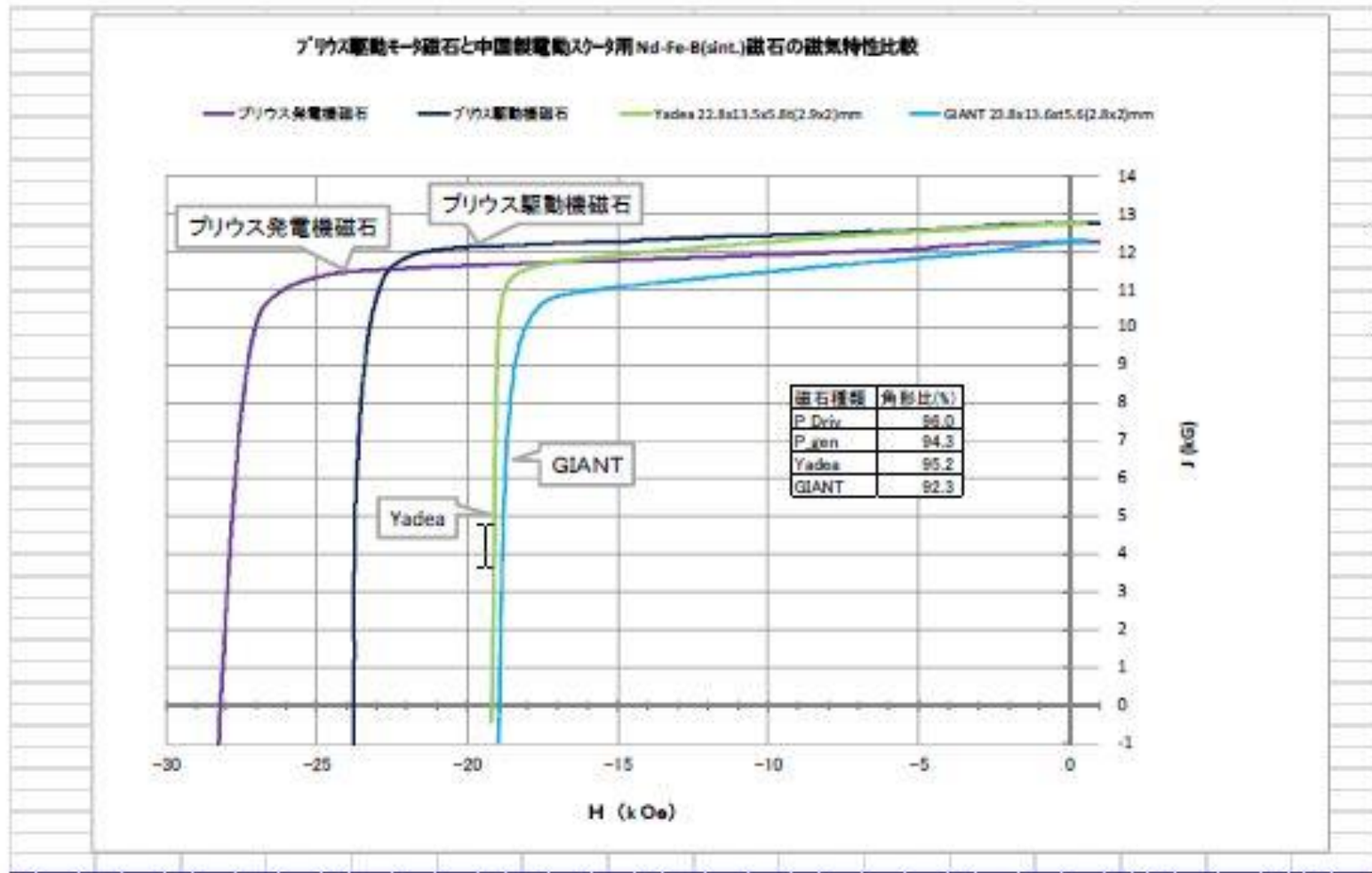


**寧波(浙江省)  
上海から車で  
2時間半**

# プリウス用Nd磁石の磁気特性



# PRIUSと中国製EBの磁石特性



# 各種HEV,EBのNd磁石特性

ブリウス駆動モータ磁石と中国製電動スクーター用Nd-Fe-B(sint.)磁石の磁気特性比較

