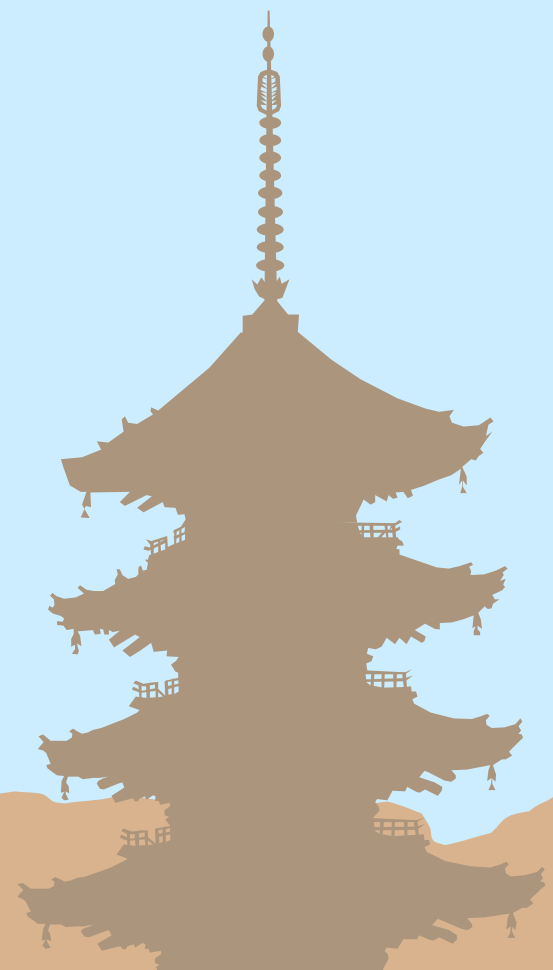


サイエンス&テクノロジーセミナー（2012. 4. 17）

「**HV・EV**用モータ開発のための 磁石材料の選定」

(株) **KRI**
磁石材料研究室
山本日登志
ymmt-hts@kri-inc.jp



目次

- 1.世界のNd磁石需要動向**
- 2.中国希土類政策**
- 3.国内Nd磁石研究開発**
- 4.中国Nd磁石業界**
- 5.IEC国際規格と国際調達の課題**
- 6.KRI提案**

会社概要

- ・ 設 立 1987(S.62)年2月20日
(株)関西新技術研究所 創業
2003年7月1日 (株) KRI に社名変更
- ・ 資本金 3億円 (出資100%大阪ガス(株))
- ・ 代表者 社長 成宮 明
- ・ 従業員数 約150名
- ・ 事業所 京都(本社), 大阪
- ・ 事業内容 受託研究、分析評価



K R I 本社の所在地：京都リサーチパーク（K R P）内

事業内容

先進的な研究開発機能と、分析・評価機能を併せ持つ、
本格的な受託研究会社

1. 材料分野、エネルギー・環境分野を
中心とする研究開発の受託
2. 分析および試験評価
3. 上記にかかわる調査・業務支援

KRIの受託研究業務

【秘密保持】

- 中立性の堅持と厳格な秘密保持を遵守

【契約形態】

- プロジェクト毎の受委託契約＜委任契約＞
- 共同研究は基本的に行なわない
※包括契約（年間一定額を決めて契約し、多数のPJを平行実施する契約）もございます。

【プロジェクト形態】

- シングルクライアント（通常）
- マルチクライアント（特にKRIから募集した場合のみ／数件/年）

【ご委託費用】

- 弊社の人件費等をベースに算出

受託研究の特徴

- 自社技術(特許、ノウハウ)を活用したシーズ提案
- クライアントニーズに応える問題解決型提案
- クライアント技術のKRI独自技術による評価・解析



➤過去10年間の累計売上 約300億円(受託研究のみ)

➤クライアント数(創業以来) 約1500社

➤特許 自社出願とクライアント出願 約100件/年

近年 自社出願の強化

⇒クライアントに優先で有償実施権を予約

または、有償譲渡

KRIの受託研究の特徴は？

【秘密保持】

- 中立性の堅持と厳格な秘密保持を遵守

【知的所有権】

- KRI所有特許を除き、基本的にクライアント帰属

即ち、*KRI*は黒子技術屋集団



KRIでは、磁石材料開発、分析評価、磁石製品開発、品質管理、トラブルシューティング等の貴社のニーズに対し、きめ細かい対応をいたします。新規磁石材料や磁気応用に関する研究開発、及び最新鋭の機器を用いたマイクロ～ナノレベルの組成分布、バルク～ナノサイズまでの磁石材料の磁気特性等の種々の評価をお引き受けいたします。

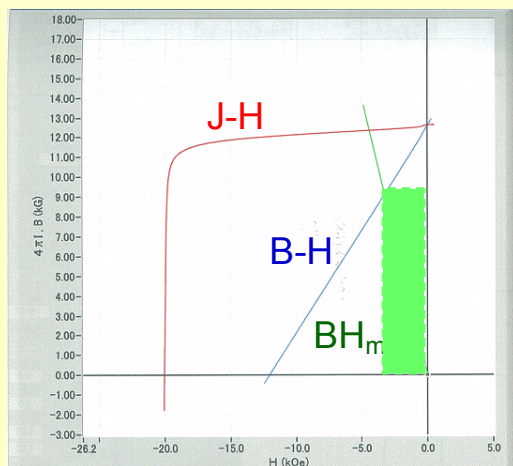
1. 受託研究

- 1) 新規磁石材料や磁気応用に関する研究・開発
- 2) 磁石特性測定評価
- 3) 磁気に関する物性、現象、メカニズム解明の研究

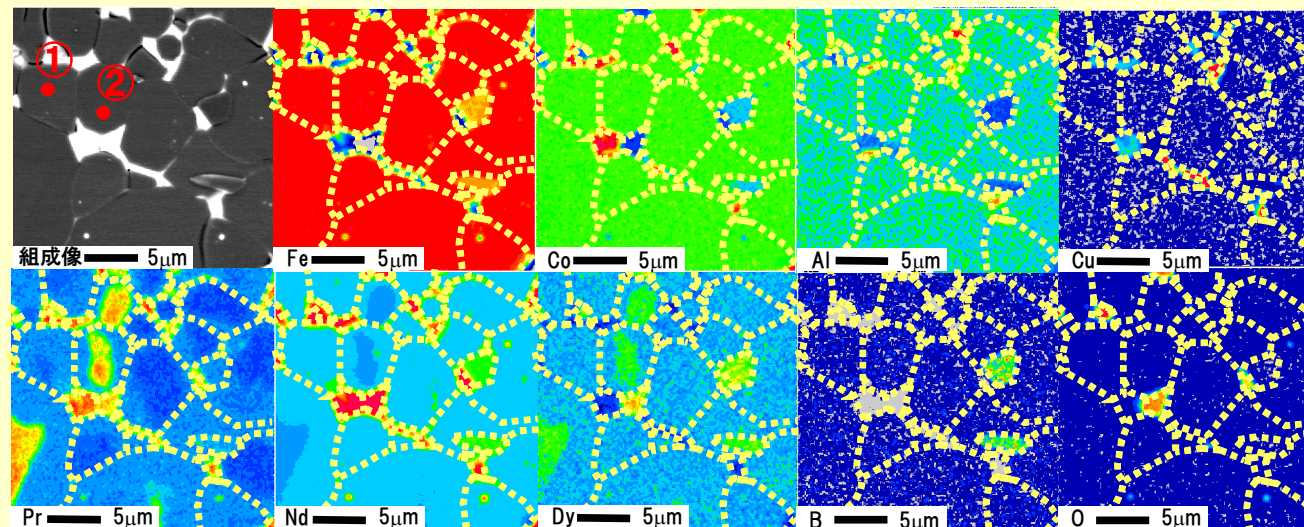
2. 磁石材料の分析、試験

- ・FE-SEM/SEM-EDS ・FE-EPMA ・FE-TEM ・FIB
- ・ICP-AES ・SPM (AFM、MFM、電流像)
- ・温度可変高磁場パルスB-Hカーブトレーサー

分析事例



高保磁力ネオジム磁石のパルスB-Hカーブトレーサーでの磁気特性測定。室温から200℃までの国際規格JIS/IEC準拠の測定が可能。図は、形状・渦電流補正後のJ-H曲線、B-H曲線、および BH_{max} の出力結果。



高保磁力ネオジム磁石を樹脂包埋・研磨後、FE-EPMA測定した結果。100 nm分解能の組成分布マッピングの他、特定スポットの組成分析も可能。(図中破線はガイドライン)

スポット定量分析例:

① $(Nd_{1.6}Dy_{0.4})(Fe_{13.4}Co_{0.6})B$; ② $(Nd_{1.3}Dy_{0.5}Pr_{0.2})(Fe_{13.6}Co_{0.4})B$

1.世界のNd磁石需要動向

2.中国希土類政策

3.国内Nd磁石研究開発

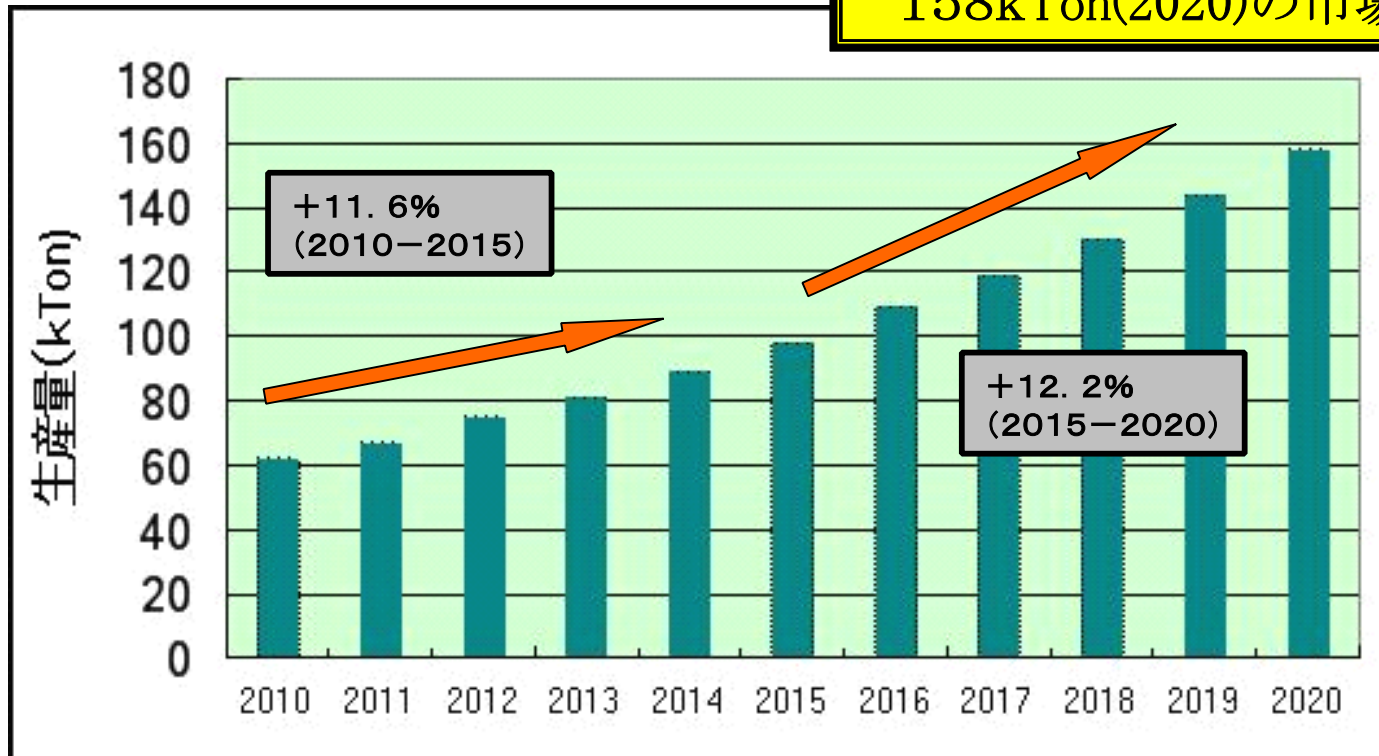
4.中国Nd磁石業界

5.IEC国際規格と国際調達の課題

6.KRI提案

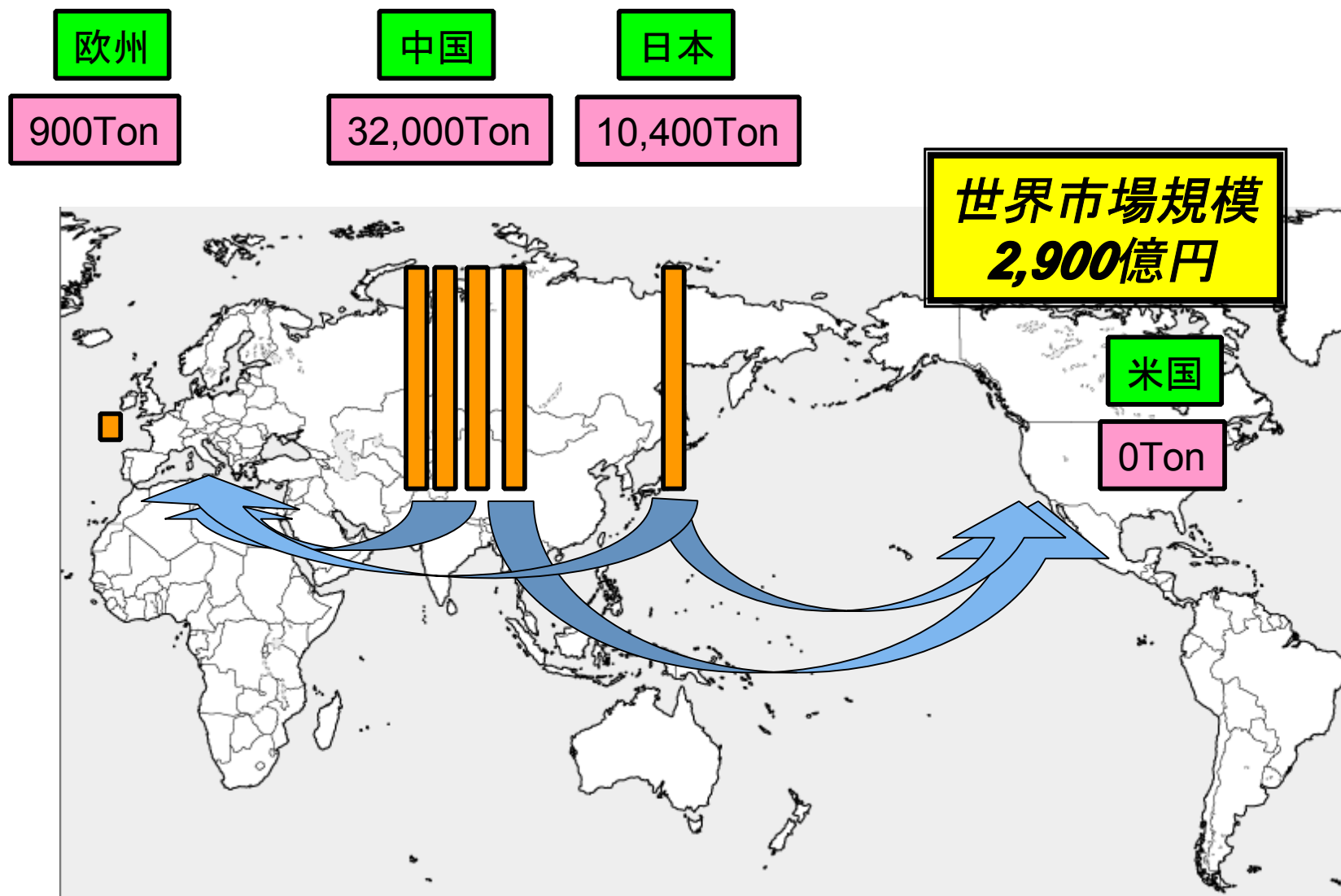
NdFeB磁石の世界需要予測

158kTon(2020)の市場規模



2020年市場規模； ¥20/gx158kTon= 3.2兆円(kRI推定)

2008年Nd焼結磁石生産(KRI推定)



Nd特許の基本的理解

- 特許は出願日から**20**年間有効
- 出願日から**20**年以降はその特許は自由に使用可
- **Nd**特許は**1983**年佐川らにより発明
- **2014**年以降参入の場合、**1994**年以前の出願特許は消滅、よってこれら特許は使用可
- 但し**1994**年以降出願特許は抵触し、使用不可

Nd磁石業界の新たな動き(その1)

三菱商事、大同特殊鋼、モリコープ／Nd磁石合併会社

- 三菱商事、大同特殊鋼、モリコープの合併生産に参入
- 2013年量産開始(岐阜県)
- モリコープ社(**USA**)からの希土類調達による脱中国依存
- 独自自動車大手が2013年発売の**EV**用モータに採用決定
- **Nd**磁石発明の佐川真人氏会社インターメタリック社から
新製法のライセンス取得
- 新製法は**Dy**50%削減、コストダウン30%

* 日本経済新聞(2011. 11. 29)

Nd磁石業界の新たな動き(その2)

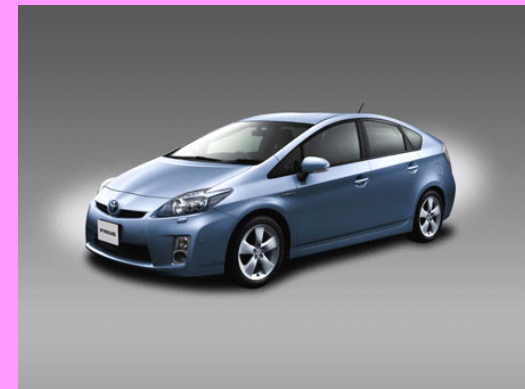
- 大手モーターメーカー**M社**
- 中国中堅**Nd**磁石メーカー**Y社**に資本投入
- **M社**中国現地工場に直接供給
- 中国輸入**Nd**磁石の**E/L**リスク管理
- 輸出税、増値税、輸送費のコストダウン

* **KRI**独自調査入手情報

Nd磁石業界の新たな動き(その3)

トヨタ自動車／プリウスの現地生産開始

- トヨタ自動車は現地合弁会社(**SFTM**)にてプリウス生産の開始を発表
- 工場; 吉林省長春
- 販売開始; 2012年初め
- 長春年産能力;
1万台→10万台(2012年初め)
- トヨタ自動車研究開発センター(**TMEC**)設立
江蘇省、2010年10月
- トヨタ章男社長
「**TMEC**に中国産ハイブリッド開発部隊を設置し、
2015年を目処に、ハイブリッドコンポーネントの
現地化を計画している」



* 国際自動車ニュース(2011.12.20)

日本の自動車産業の歴史

1980年代; 日米貿易摩擦→自動車産業の現地化→世界的企業に発展

1.世界のNd磁石需要動向

2.中国希土類政策

3.国内Nd磁石研究開発

4.中国Nd磁石業界

5.IEC国際規格と国際調達の課題

6.KRI提案

希土類原料の97%は中国から輸出



日本の置かれている特異な背景

- 日本は最大の希土類輸入国
 - 一方、日本は希土類資源の無い国
 - 希土類磁石は日本のハイテク産業を支える重要な基盤材料
- 米国； Nd磁石メーカー無し、欧州； 独に1社

世界の希土類の生産量、埋蔵量、存在量

	Mine Production		Deposit	Resources
	2004	2005		
China	95,000	98,000	27,000,000	89,000,000
CIS	2,000	2,000	19,000,000	21,000,000
USA	none	none	13,000,000	14,000,000
Australia	none	none	5,200,000	5,800,000
India	2,700	2,700	1,100,000	1,300,000
Malaysia	250	250	30,000	35,000
Thailand	2,200	2,200	NA	NA
Others	none	none	22,000,000	23,000,000
Total	102,000	105,000	88,000,000	150,000,000

USGS Mineral Summaries, January 2006

埋蔵量/生産量 = 838 years !

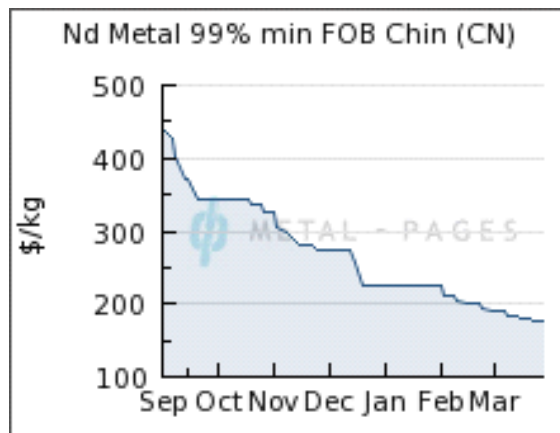
Ref; AIST(Advanced Industrial Science and technology) Ph D Yasushi Watanabe

Important Elements for NdFeB Magnet

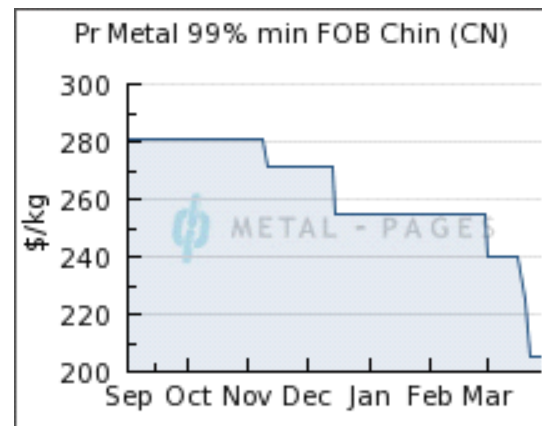
	Monazaite	Bastonasaite	Zenotime	Ion-Absorption
La ₂ O ₃	21.50	33.20	1.24	1.82
Ce ₂ O ₃	45.80	49.10	3.13	0.37
Pr ₂ O ₃	5.30	4.34	0.49	0.74
Nd ₂ O ₃	18.60	12.00	1.59	3.00
Sm ₂ O ₃	3.10	0.79	1.14	2.82
Eu ₂ O ₃	0.80	0.12	0.01	0.12
Gd ₂ O ₃	1.80	0.17	3.47	6.85
Tb ₂ O ₃	0.29	0.02	0.91	1.29
Dy ₂ O ₃	0.64	0.03	8.32	6.67
Ho ₂ O ₃	0.12	0.01	1.98	1.64
Er ₂ O ₃	0.18	0.00	6.43	4.85
Tm ₂ O ₃	0.03	0.00	1.12	0.70
Yb ₂ O ₃	0.11	0.00	6.77	2.46
Lu ₂ O ₃	0.01	0.00	0.99	0.36
Y ₂ O ₃	2.50	0.09	61.00	65.00

(Wt %)

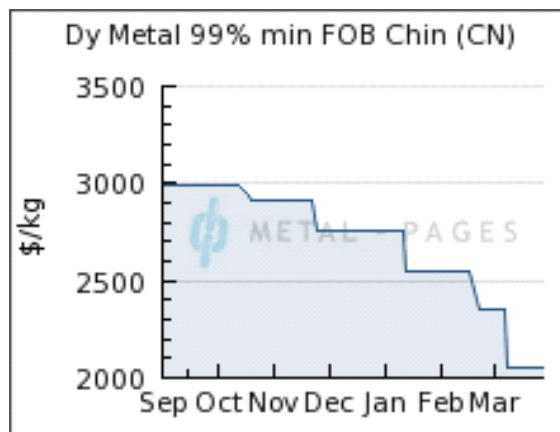
直近の希土類の価格推移 (Sept/2011-March/2012)



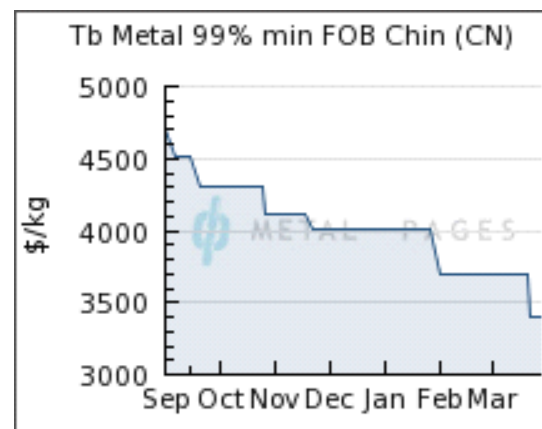
Nd; 440→140\$/kg



Pr; 280→205\$/kg



Dy; 3,000→2,050\$/kg



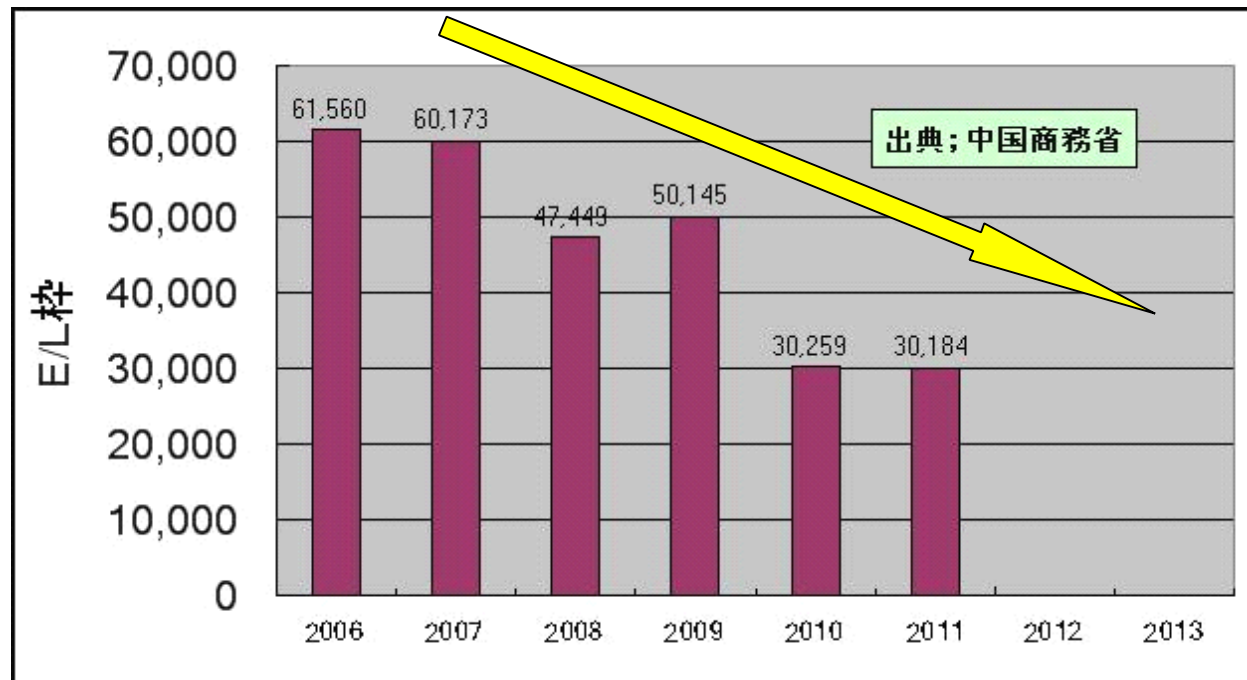
Tb; 4,600→3,400\$/kg

世界の希土類鉱床の 希土類成分比

wt. %

鉱山	バイアンオボウ (Baiyanobo)	龍南 (Longnan)	信豊 (Xinfeng)	マウンティンパス (Mountain pass)	マウントウェルド (Mt. Weld)
国、地域	中国(内モンゴル)	中国(江西省)	中国(江西省)	米国(ネバダ)	オーストラリア
鉱床	バストネサイト	イオン吸着鉱	イオン吸着鉱	バストネサイト	モナザイト
Y	0.20	56.20	25.10	0.10	0.25
La	26.50	7.80	26.20	33.20	25.50
Ce	50.80	2.40	1.90	49.10	46.74
Pr	4.96	2.40	6.00	4.34	5.32
Nd	15.40	9.00	21.10	12.00	18.50
Sm	1.10	3.00	4.50	0.80	2.27
Eu	0.21	0.03	0.71	0.10	0.44
Gd	0.60	4.40	4.80	0.20	0.75
Tb	0.03	0.90	0.77	—	0.05
Dy	0.10	5.30	4.10	—	0.12
Ho	—	1.40	0.80	—	—
Er	—	3.60	2.00	—	—
Tm	—	—	—	—	—
Yb	—	2.70	1.60	—	—
Lu	—	0.30	0.20	—	—

中国政府のレアアースEL枠推移と今後



中国国内事情; 資源問題、環境問題、国内産業育成 & 競争力強化。。。。

中国レアアース原料の輸出関税の推移

品目	2006	2008	2011
希土類鉱石	0	15%	15%
Nd metal	0	15	25
Dy metal	0	25	25
Tb metal	0	25	25
MM metal etc	0	25	25
酸化Nd	0	15	15
酸化Dy	0	15	25
Dy-Fe	0	0	25

- ・ 近年中国政府の方針転換(資源保護、環境対策、国内産業育成)有り
- ・ 希土類については、2003年当時は中国政府は外貨獲得戦略のため13%の輸出奨励金を支給して促進。
- ・ その後一転して、2006年には輸出奨励金を廃止
- ・ さらに2008年には輸出関税をかける方針に180度の転換を図る
- ・ 今後の中国政府の動きは全く不透明
- ・ 日本の希土類原料メーカー、磁石メーカーは何らかの対応要

1.世界のNd磁石需要動向

2.中国希土類政策

3.国内Nd磁石研究開発

4.中国Nd磁石業界

5.IEC国際規格と国際調達の課題

6.KRI提案

B_r と H_{cJ} の特性向上の指針

B_r を向上させるには？

$$B_r(T) \propto I_s(T) \times (\rho / \rho_0) \times (1 - \alpha) \times f$$

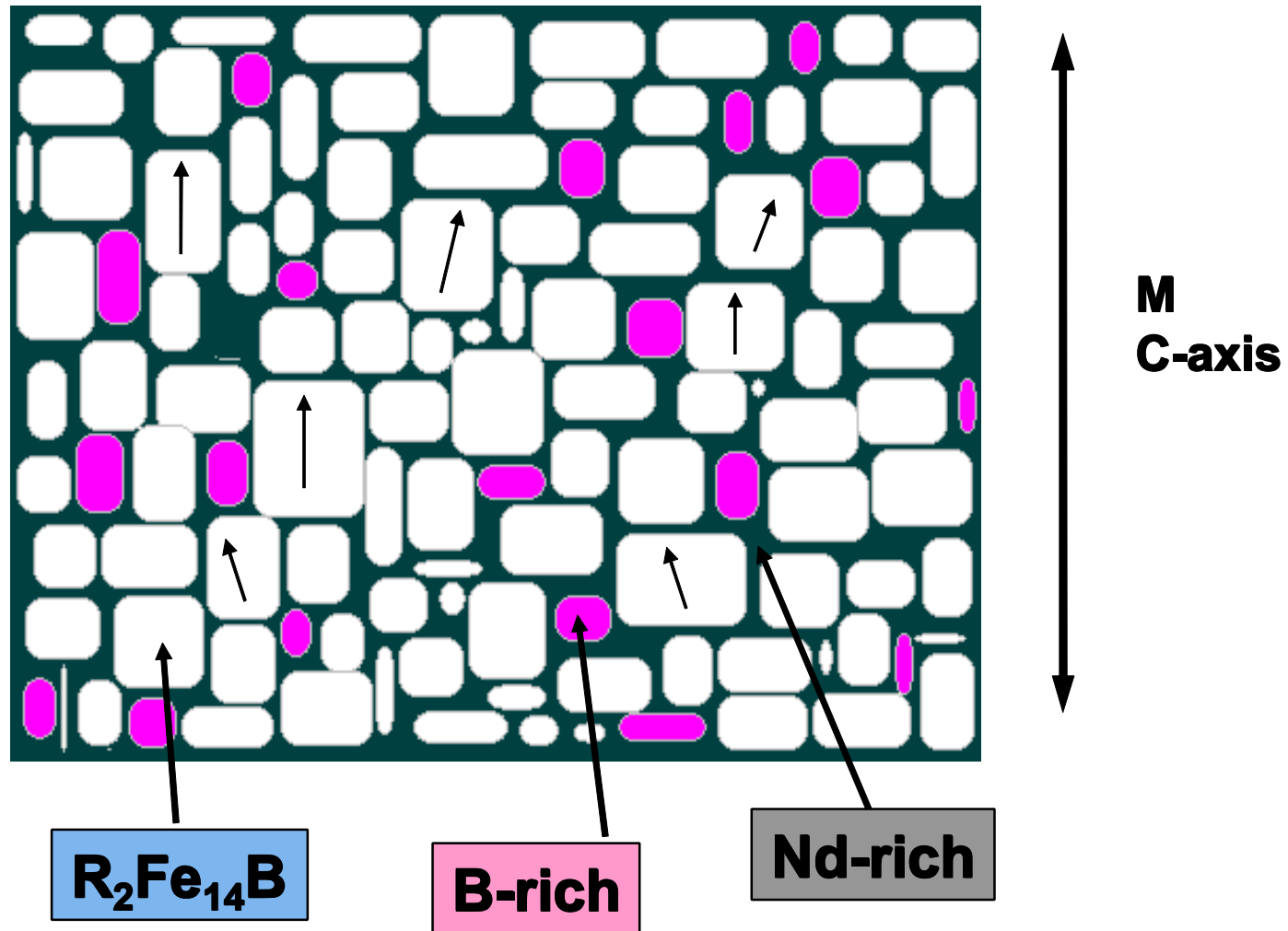
B_r : 残留磁束密度、 T : 温度、 I_s : 飽和磁化、 ρ : 焼結密度、 ρ_0 : 理論密度、 α : 非磁性相の体積比率、 f : 結晶粒配向度

H_{cJ} を向上させるには？

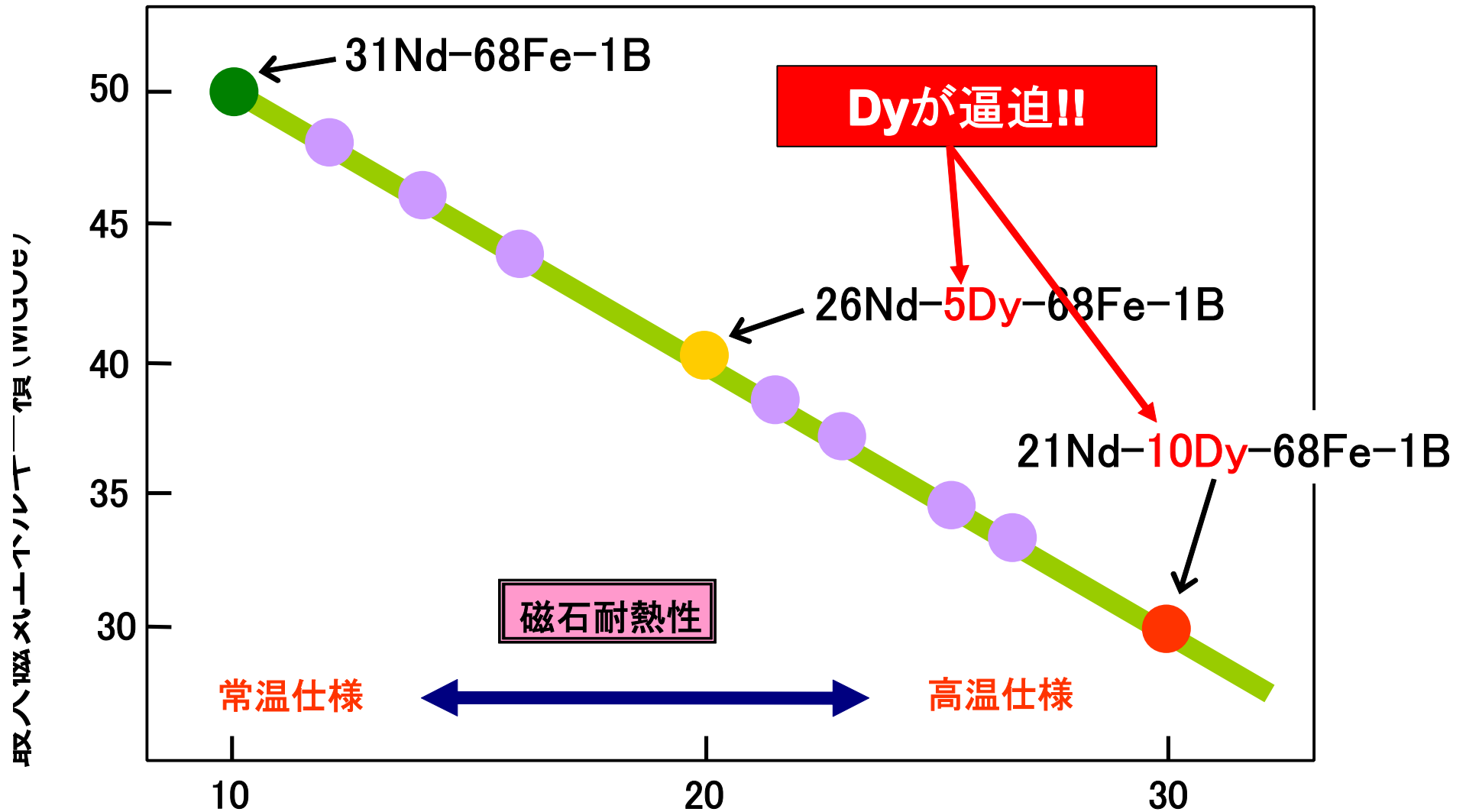
$$H_{cJ}(T) \propto 2 \times K(T) / I_s(T) - N \times I_s(T)$$

H_{cJ} : 保磁力、 T : 温度、 K : 異方性定数、 N : 反磁界係数

焼結Nd磁石の金属組織模式図



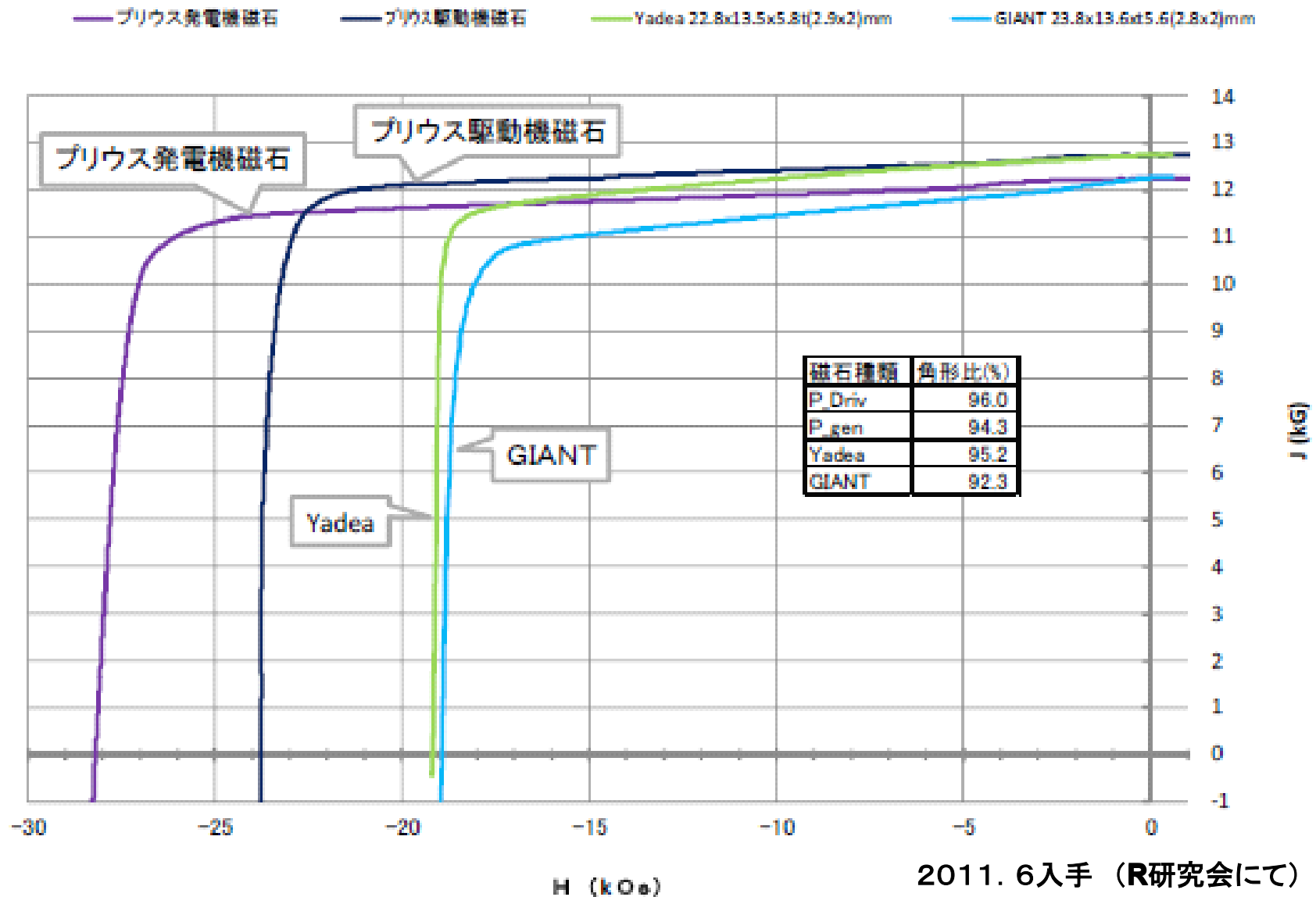
ネオジム磁石の組成 (wt%)



Data; インターメタリックス(株) 佐川真人氏

保磁力 H_{cJ} (kOe)

PRIUS磁石と中国EB用磁石の特性比較

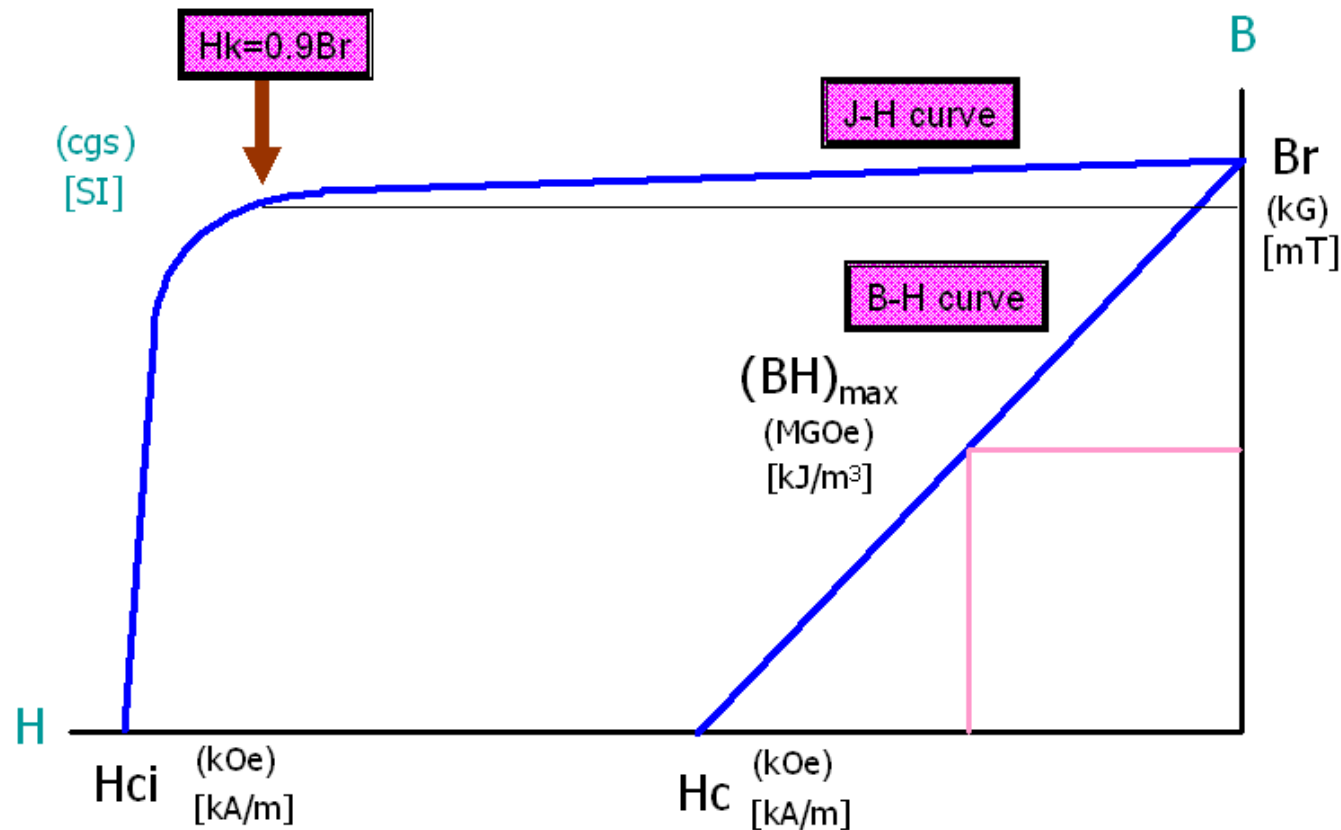


- 1.世界のNd磁石需要動向
- 2.中国希土類政策
- 3.国内Nd磁石研究開発
- 4.中国Nd磁石業界**
- 5.IEC国際規格と国際調達の課題
- 6.KRI提案

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

減磁曲線とHk(角型性)



Hkが大→ 熱安定性に優れる

- 1.世界のNd磁石需要動向
- 2.中国希土類政策
- 3.国内Nd磁石研究開発
- 4.中国Nd磁石業界
- 5.IEC国際規格と国際調達の課題**
- 6.KRI提案

日本の磁石業界では測定方法が 標準化されていない

日本の磁石業界の問題としては、営業で用いられる焼結磁石製品のデータが正確ではない、との見方が国内外の需要家の一部から出ていること。日本の焼結磁石業界では測定方法が統一されていないため、各社のデータを単純に比較できない状況になっており、営業上のためわずかながら良いデータにかさ上げされる、といった指摘も出る。一部の需要家はより高い品質を求めて、自ら高額な測定器の購入を迫られている。各社のデータに基づいたモーター性能の試算と、実際に試作したモーターを磁場解析した結果とが異なる場合、試算と結果の違いが磁石性能を原因とするのか、モーターの設計を原因とするのか、調べる必要が出てくる。こうした課題を解決するためには、中立公正な機関が統一的な測定法で磁石製品の性能データを計測する、などといった業界として具体的な対応を取るべきだと思う。

IEC永久磁石規格一覧表

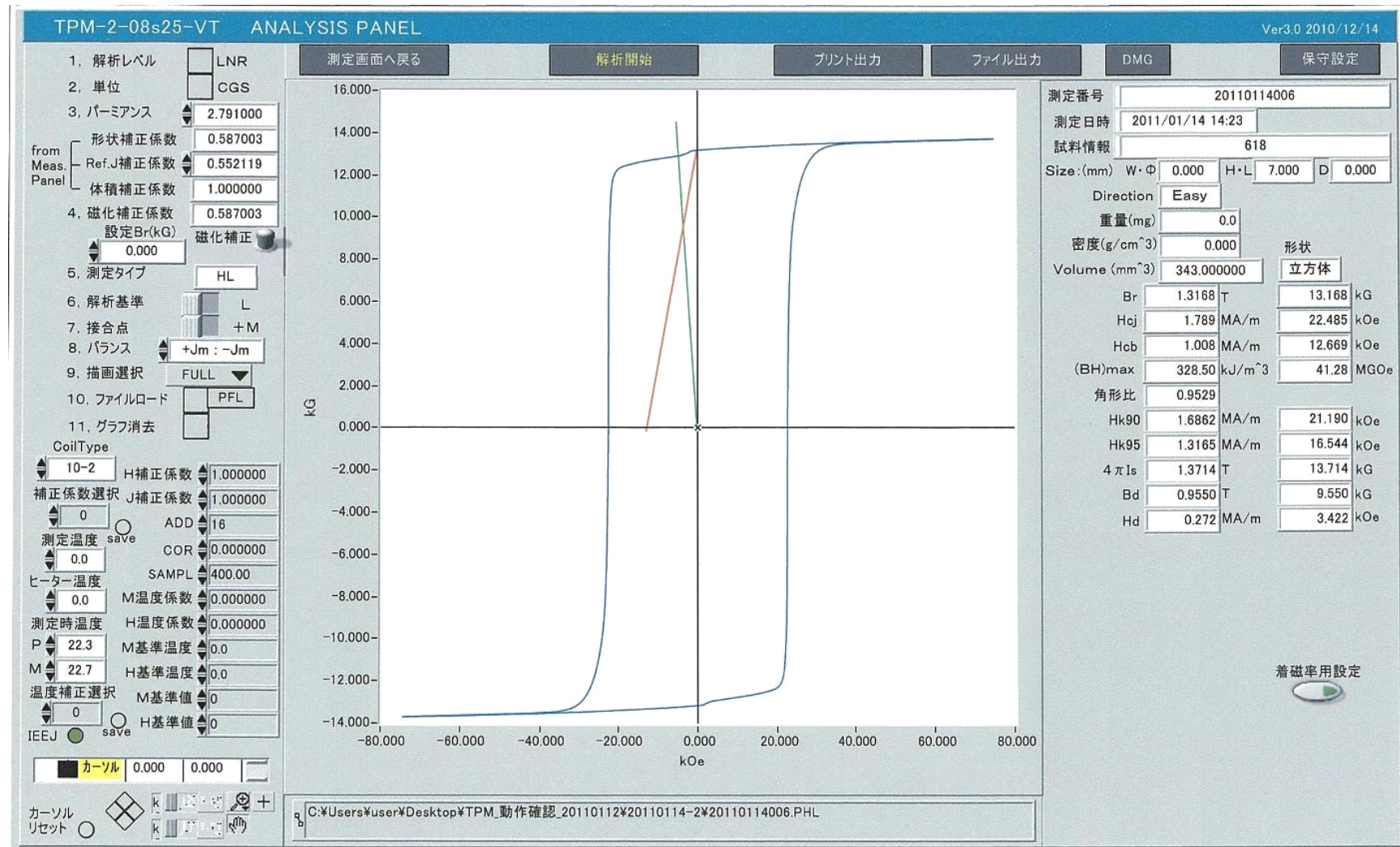
IEC Publication No.	タイトル	規格化年	内容
60404-1	Magnetic materials – Part 1: Classification	2000	磁性材料の分類
60404-5	Magnetic materials – Part 5: permanent magnet (magnetically hard) materials – Methods of measurement of magnetic properties	1993	永久磁石の測定方法 (BHtレーサ)
60404-7	Magnetic materials – Part 7: Method of measurement of the coercivity of magnetic materials in an open magnetic circuit	1982	オープン磁界下での保磁力の測定方法
60404-8-1	Amendment 1 – Magnetic materials – Part 8-1: Specifications for individual materials – magnetically hard materials	2004	永久磁石材料の規格
TR61807	Magnetic properties of magnetically hard materials at elevated temperatures – Methods of measurement	1999	高温永久磁石測定方法
TR62331	Pulsed field magnetometry	2005	パルス磁場永久磁石測定方法
TR62517	Magnetization behaviour of permanent magnets	2009	永久磁石の着磁特性
TR62518	Temperature stability of rare earth permanent magnets	2009	希土類磁石の温度特性
* TR; Technical report			(2009 Dec現在)
IEC規格購入先: http://www.iec.ch			

- 1.世界のNd磁石需要動向
- 2.中国希土類政策
- 3.国内Nd磁石研究開発
- 4.中国Nd磁石業界
- 5.IEC国際規格と国際調達の課題
- 6.KRI提案**

KRIからの提案

1. 国際調達ニーズ支援
 - a) **Nd**磁石の測定、評価
 - b) 中国Nd磁石の現状調査
 - c) **Nd**磁石特許調査
2. Nd磁石市中屑の市場調査と活用
3. 脱中国、低コスト、高耐熱性、高性能ボンド磁石の研究&実用化
4. 技術コンサルティング&指導
5. 客先出張講演

高磁場測定装置測定例



NdFeB焼結磁石 (7x7x7mm)
常温BHカーブ

測定例

TPM-2-08s25VT による、Nd-Fe-B(sint.) 7mm Cube 温度可変 Data

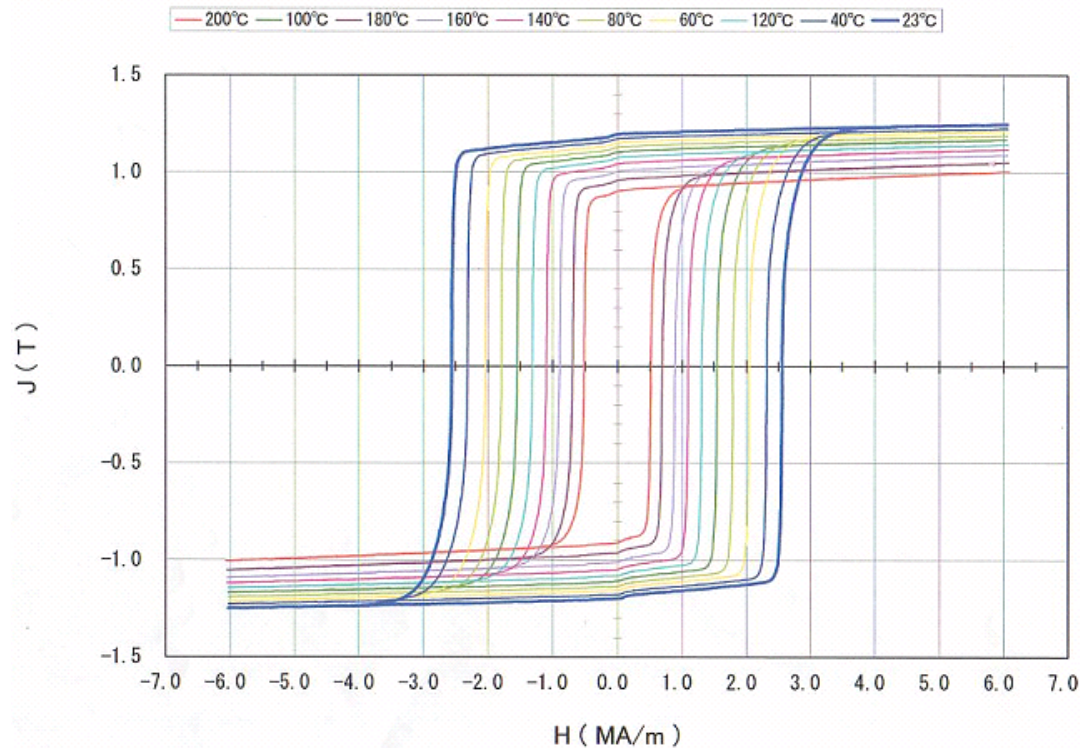


図3 ネオジム焼結磁石のJ-Hカーブ温度変化

室温から200°Cまでの温度変化を測定することで、熱安定性の評価が可能。100°Cで保磁力は室温の約半分に減少しているのがわかる。

NEOMAX32EH Nd-Fe-B Sint. Mag. (7×7×7mm: Cube)



図4 ネオジム焼結磁石のJ-Hカーブの磁気異方性

容易軸方向および困難軸方向の測定により、磁気異方性の情報、および配向度の見積もりが可能。

自動車用途としてのNd磁石の総合評価

Nd磁石の測定、評価、検定

- ①基本磁気特性の測定
 - Br, HcB, HcJ, (BH)max, Hk(角型性)**
- ②温度特性 (20℃→最高温度200℃)
 - 各温度のBHカーブ(IHカーブ)
 - 温度係数(α 、 β)
 - 熱減磁特性(20℃→200℃)
 - 長期熱安定性
- ③着磁特性
- ④その他特性(リコイル μ 、物理特性、電気特性)
- ⑤特性バラツキ、再現性、ナインシグマ
- ⑥金属組織
 - 磁石材料の本質的な評価&検討(磁石ユーザへの提言)
 - EDX, EPMA, FE-EPMA, XRD, ICP, ガス分析等
- ⑦Niメッキ性状、信頼性評価
- ⑧その他Nd磁石の量産採用に到るまでの総合評価支援

TECHNO-FRONTIER 2011

(2011/7-20-22、東京ビックサイト)

KRIモータ技術展出展

TECHNO-FRONTIERとは……

「ものづくり」を支える最新の要素技術と、開発設計・生産技術の
プロフェッショナルが集結し、課題解決の糸口をさぐり、未来を切り拓く場

メカトロニクス、エレクトロニクス及びそれらに関連する専門領域の最新技術と製品が展示され、各領域に対応した技術シンポジウムが開催される、アジア最大級の専門トレードショー&カンファレンスです。各国有技術が一堂に会することで、相互の技術の関連性が最大限に引き出され、幅広い分野の開発設計・生産技術者にとって「未来をかたちづくる最新情報を得る場」「課題解決のための商談の場」となっています。

構成展示会



(株) **KRI** 磁石材料研究室
2012年出展予定！

ご清聴ありがとうございました。

(株) KRI

磁石材料研究室

山本日登志

ymmt-hts@kri-inc.jp

