

2018年11月12-14日 第13回 日本磁気科学会年会  
第23回研究会・ 磁場発生分科会  
(東北大学金属材料研究所)

KRI

## 最新のネオジム磁石の技術動向と磁石応用例

京都 金戒光明寺にて

(株)KRI 山本日登志  
ymmt-hts@kri-inc.jp

# ネオジム磁石の拡大する各種用途



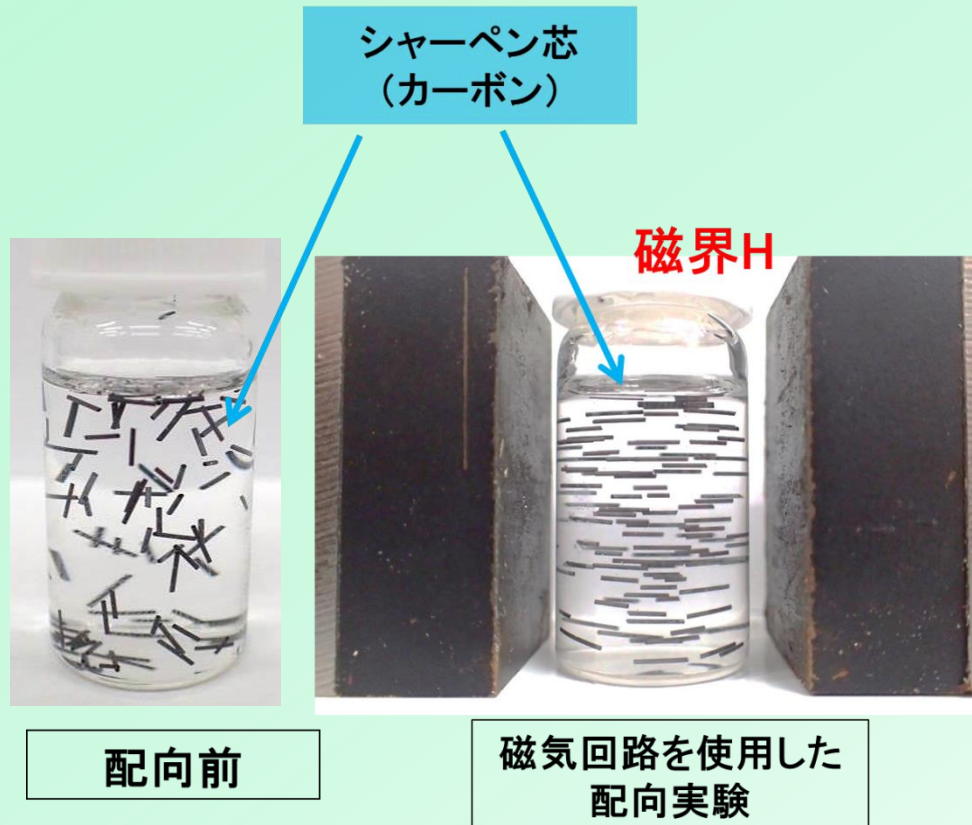
実際に使用されている磁場強度は？



通常0.5~0.8Tesla

【出典:まぐね(日本磁気学会学会誌)「永久磁石の発展とその市場動向」石垣尚幸、山本日登志 Vol.3, No.11, 2008】

## 磁場配向は永久磁石磁気回路で簡単に出来る(1)



# 磁場配向は永久磁石磁気回路で簡単に出来る(2)

## 2) 磁場印加による生体への活性化確認



ネオジム磁石

ヨーク材 (SS-400)

### 磁場印加に関わる各種パラメータ設定

#### <パラメータ例>

- ・静磁場、パルス磁場、交流磁場
- ・磁場強度
- ・照射時間
- ・吸水に関するパラメータ  
(ターゲットの吸水時間、  
水への磁場印加など)

<評価> 生体の酵素活性など

参考; 磁場強度の計算事例  
ネオマグ(株); <http://www.neomag.jp>

## 磁場配向の評価はVSMで簡単に出来る(2)

磁気異方性の高い物質を  
事前の磁気測定から選定



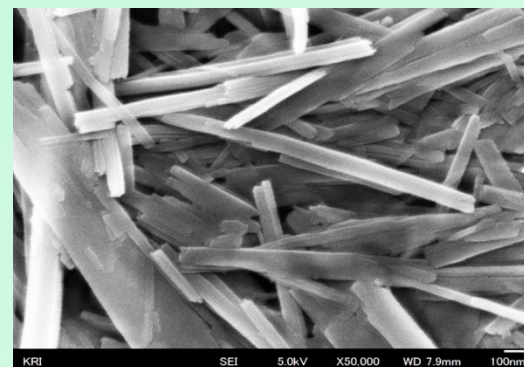
磁場印加

一軸配向

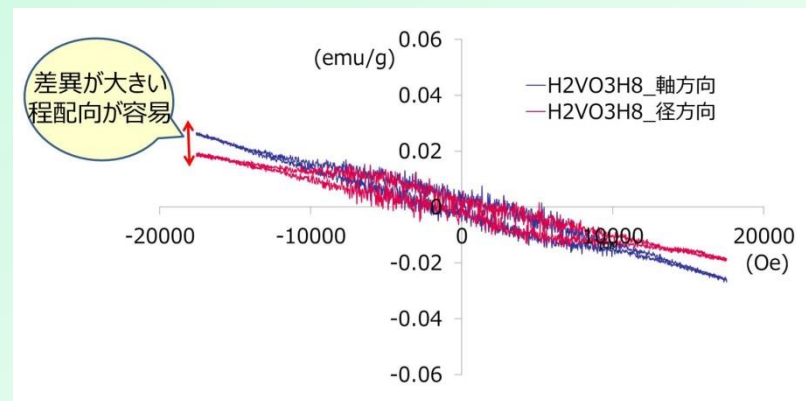


- ・熱伝導率の異方性化
- ・誘電率の異方性化
- ・光化学的性質の異方性化

高熱伝導率フィラー: AlN、BN、MgO、SiC



500nm



\* VSM; 振動試料型磁力計

# 磁場配向の評価はVSMで簡単に出来る(1)



## <特徴>

- ・最大磁界 約17kOe
- ・磁化感度が非常に高い。(1×10<sup>-5</sup>emu)
- ・常磁性、反磁性体でも測定可
- ・低温(液体窒素温度)～900℃連続測定可
- ・直流磁場中での加熱、冷却処理が可
- ・電磁石 360°回転

## <評価例>

### Ni-H電池中の残存微量Niの検出(試算)

純Ni(99.99%)の飽和磁化 $\sigma=54.39$  (emu/g),  
通常感度; 1×10<sup>-4</sup>(emu)として計算。

⇒可能な検出感度は試料重量100mg時に、  
1.84ppm以上。

## 測定実施例;

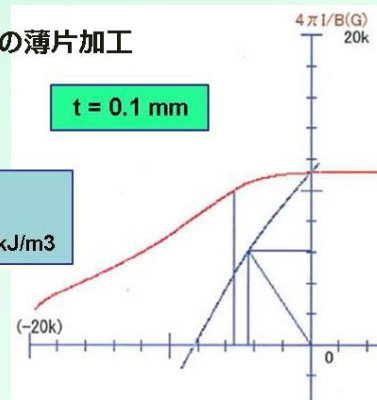
1. Ni-H電池中の残存微量Niの検出
2. 製薬、食品工程中に混入する極微量Fe,ステンレスの検出
3. 樹脂成型プロセス中の強磁性不純物の検出
4. Fe系合金の磁場中熱処理効果の研究
5. 食品(にんにく等)や医療への磁場処理効果の研究

\* VSM; 振動試料型磁力計

## ②焼結磁石の薄片加工

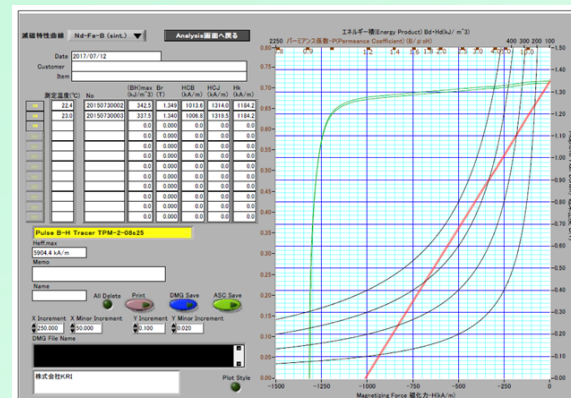
t = 0.1 mm

Br= 1.11 T  
Hcb= 657 kA/m  
(BH)max= 213 kJ/m<sup>3</sup>



100μm×2×2mm MEMS微小磁石

# 磁場配向はパルス磁場でも可能か？(3)



7mm立方体

市販焼結ネオジム磁石の  
磁気特性受託測定例  
(7x7x7 mm)

## 温度可変パルス励磁型BHトレーサ

最大磁場; 8Tesla  
パルス幅; 約16ms  
測定温度: 室温から200°Cまで可能  
コイル内径; φ26mm

\* 少量試料数; 無料にて磁場処理します。お問合せ下さい

## &lt;KRIにおける磁場照射酵素活性検討&gt;

## 1) 実験



&lt;試料&gt;

国産大麦, 麦芽

## &lt;試料前処理&gt;

- ①ドライ状態
- ②ウエット状態

## &lt;磁場処理方法&gt;

- ①磁気回路による静磁場照射  
条件⇒時間
- ②BHパルス装置を用いたパルス磁場照射  
条件⇒印加磁場  
(直流電流源を使用した静磁場に比べ、  
強磁場を暴露することが可能。  
変動磁場の影響も期待)

①永久磁石方式  
磁気回路

## ②BHパルス装置

## 2) 評価

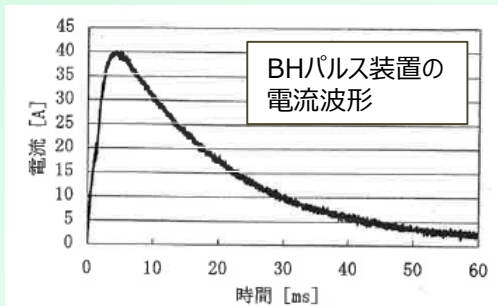
## ①粗酵素液の調製

乳鉢で粉砕した麦芽, 大麦を抽出液 (0.1 mM DTT を含む50 mM リン酸緩衝液 (pH 6.0) ) 1 mlを加え, 4°C条件下で1時間抽出 (15分毎に30秒攪拌) した後, 15,000 rpm, 5分間の遠心分離によって得た上清を粗酵素液とした。

## ②リポキシゲナーゼ活性の測定

粗酵素液0.8 mlに検出液 (1 μMメチレンブルーを含む8 mM リノール酸) 0.2 mlを加え, 35°Cで30分間反応した後, 660 nm の吸光度を測定し, 吸光度の低下程度 (退色程度) によってLOX 酵素活性を評価した。

\*大関ら (育種学研究9: 55-61 (2007))



最大パルス磁界 8Tesla



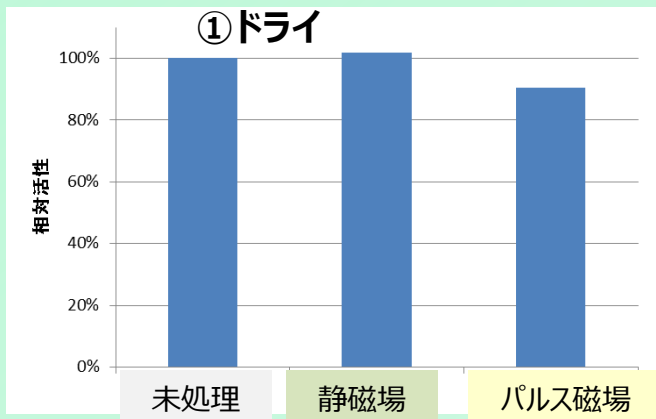
### <KRIにおける磁場照射酵素活性検討>

#### 1)実験結果

磁場印加条件の好適化によりLOX活性低減の可能性が見られた。

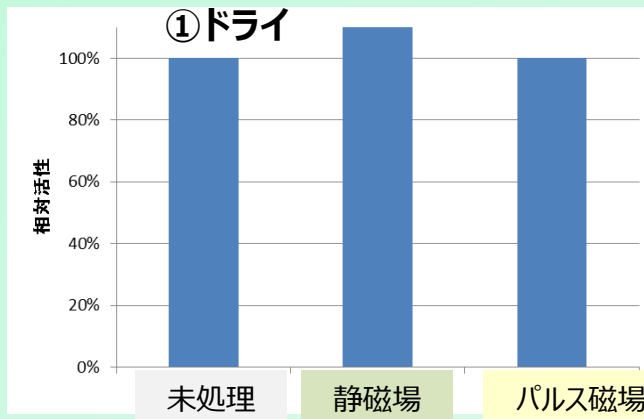
#### <大麦>

##### ①ドライ



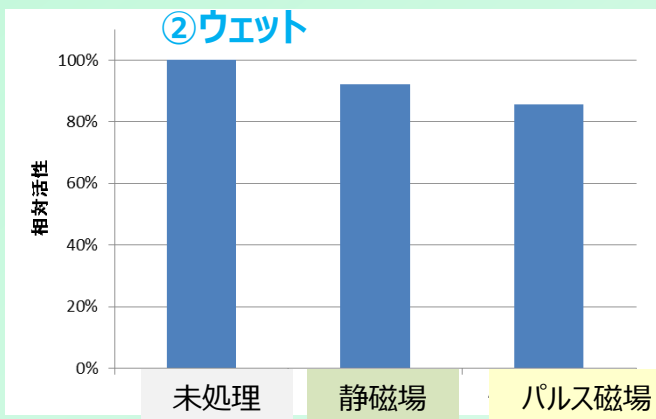
#### <麦芽>

##### ①ドライ



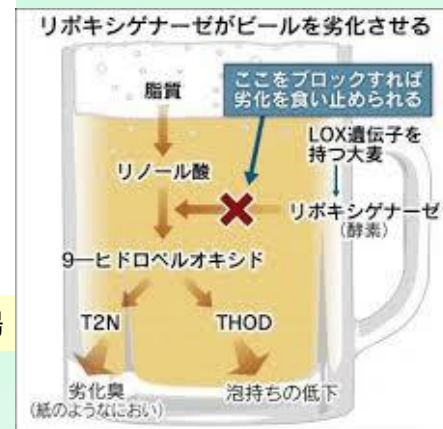
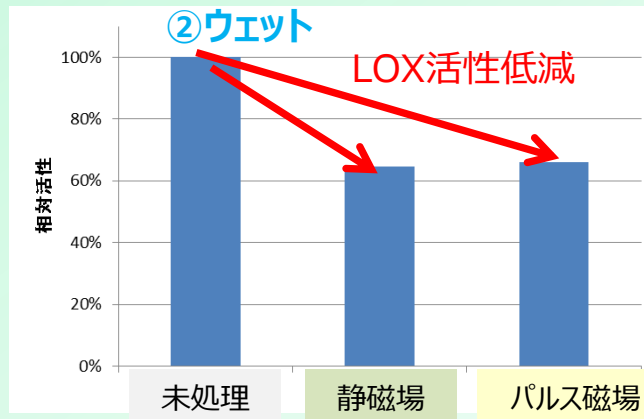
#### <大麦>

##### ②ウェット



#### <麦芽>

##### ②ウェット



\* 大麦のリポキシゲナーゼは、脂質を酸化することでビールの品質を劣化させる

## 永久磁石の高性能磁場設計の歴史

1. 1970年代; リング型永久磁石設計  
(K.Halbach, LBL その他研究グループ)
2. 1983年; ネオジム磁石発明  
(住友特殊金属、佐川他)
3. 2001年;
  - 3.1Tesla、gap=3mm 東大他
  - 4.4Tesla gap=6mm 放医研
  - 5.0Tesla gap=0.15mm ESRF(仏)
4. 2004年
  - 5.5Tesla gap=1mm USA某大学

## 永久磁石の高性能磁場設計の歴史(2)

### 実現のポイント

1. 高性能ネオジム磁石の特性向上
2. 永久磁石の磁束の集中 例;放射状配列
3. 高飽和磁化 $J_s$ (C-Fe-V合金)材料の併用
4. 磁石減磁を抑える設計技術
5. 高精度磁場計測技術
6. FEM磁場解析による最適磁気回路設計

# 永久磁石方式 MRI 用磁気回路の開発

## Development of a Permanent Magnet Assembly for MRI

宮本毅信・桜井秀也・高林博文・青木雅昭

住友特殊金属(株)商品開発部, 大阪府三島郡島本町江川 2-15-17 (☎618)

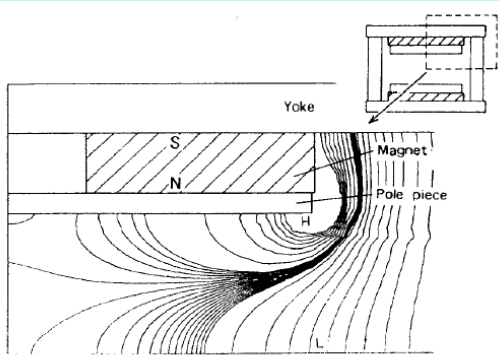


Fig. 7 The equi-magnetic flux density line of the flat pole pieces which was calculated by two dimensional FEM.

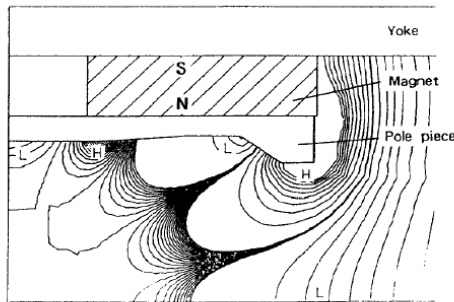


Fig. 8 The equi-magnetic flux density line of the pole pieces which have first and second shim, calculated by two dimensional FEM.

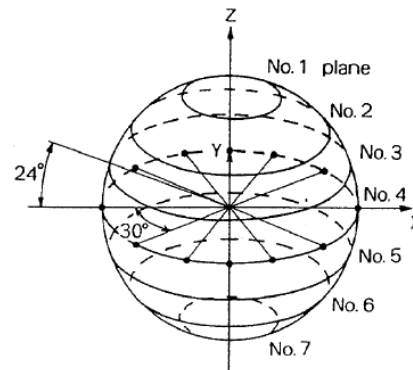


Fig. 3 Seven plane plotting method which is used for evaluation of homogeneity of the air gap.

$$\Delta u = \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2}$$

一般解

$$u(r, \theta, \phi) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \left( \frac{r}{r_0} \right)^n \times (A_n^m \cos m\phi + B_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos \theta) \quad (2)$$

$$P_n^m(x) = (1-x^2)^{m/2} \frac{d^m P_n(x)}{dx^m}$$

ここで  $A_n^m, B_n^m$  は任意定数で,  $P_n(x)$  はルジャンドルの多項式である。球表面の測定値からこれら定数の値を解くことにより, 空間の不均一な性状を表すことができる。

高性能 Nd-Fe-B 磁石合金を用いてコンパクトで経済的な永久磁石方式 MRI 用磁気回路を開発し, 実用化できた。ここでは最小のポールピース直径で所定の磁界均一空間を得るために, ポールピースの内面に第一シム・第二シムなどの突起を設け, FEM とモデル実験で効果を確認した。得られた全身用磁気回路の性能を Table 2 に示す。均一度は 350 mm 球空間で 30 ppm 以下が得られ, 実用上十分満足できる品質の画像が得られることが確認された<sup>3)</sup>。

# 超小型永久磁石MRIは既に商品化されている

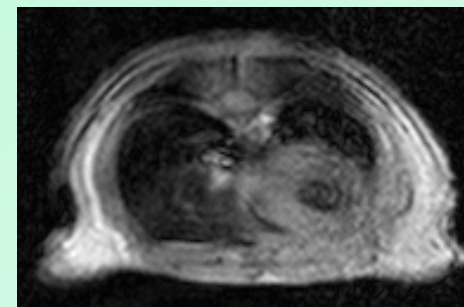


永久磁石式MRI  
磁場； 0.3Tesla

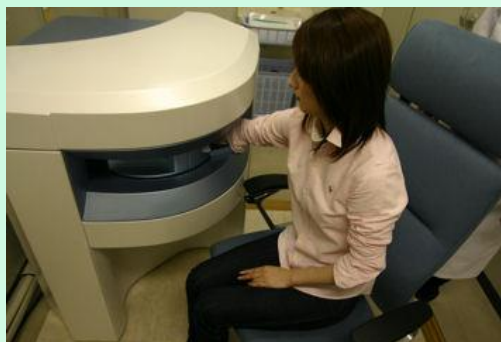


## 製品群

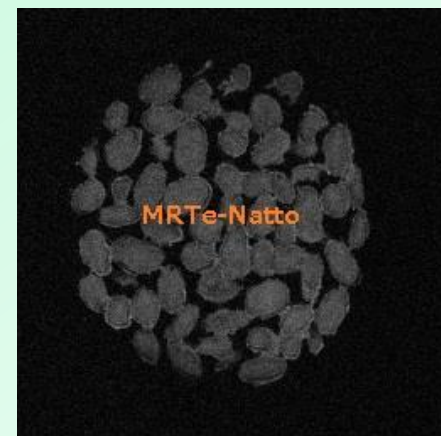
1. マウスラットMRI
2. リウマチ用MRI
3. 食品用MRI
4. 樹木用MRI
5. 燃料電池用MRI
6. その他MRI



マウスラット心臓(動画)



リュウマチ



納豆

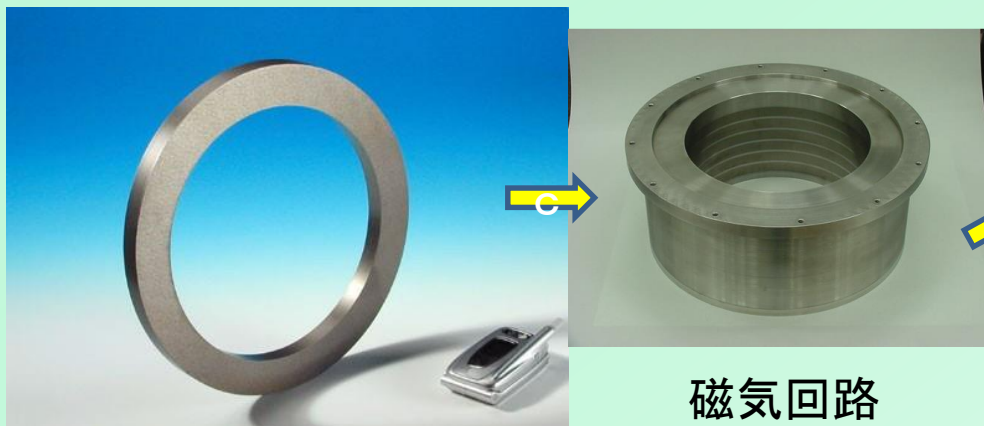
MR technology ; [www.mrtechnology.co.jp](http://www.mrtechnology.co.jp) (茨城県つくば市)  
約20年前から小型MRI装置を開発、販売, 社長; 拝師智之

# 電力貯蔵用フライホイール用ネオジウム磁石

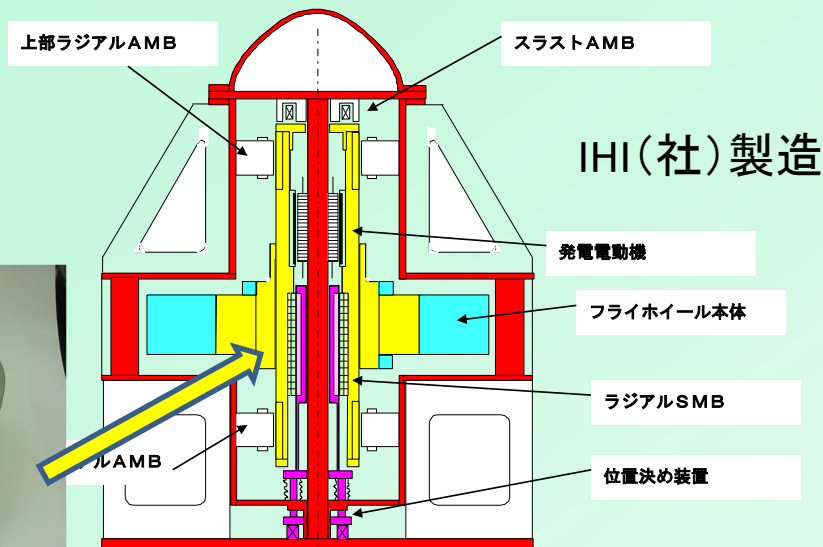
平成13年度

新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告

フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発



磁気回路

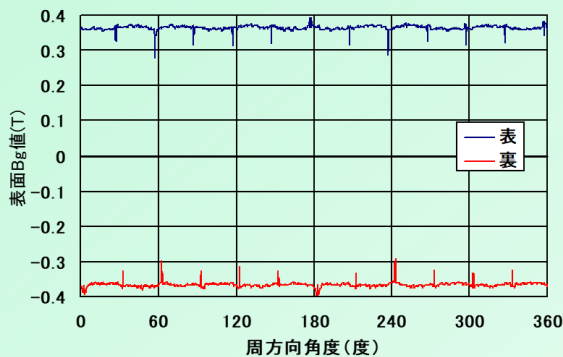


10 kWh 級フライホイール電力貯蔵試験装置

世界最大の  
一体物ネオジウム磁石  
直径;  $\Phi 300\text{mm}$

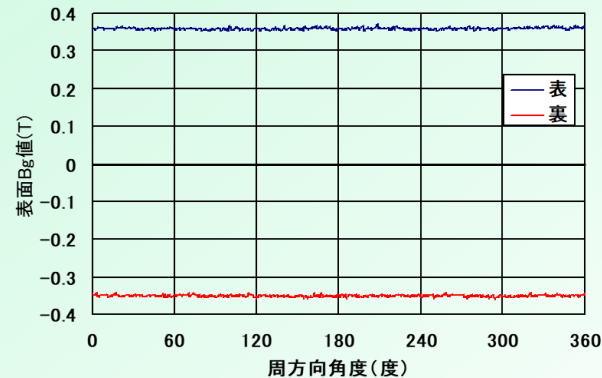
FW貯蔵エネルギー

$$E = (1/2)I\omega^2$$



直角材接着品の表面Bg分布 Gap0.15mm

12分割接着品ネオジウムリング



平行品の表面Bg分布 Gap 0.15mm

一体物ネオジウムリング

**8<sup>th</sup> KIFEE**  
**Trondheim, NO**  
**21 Sept., 2015**



## **Contribution of NdFeB magnets for global natural resources and energy saving**

**Hitoshi Yamamoto**  
**KRI**  
**Ymmt-hts@kri-inc.jp**

## Size comparison between PM motor and conventional induction motor



**PM Motor**  
Volume; 50%

**Induction Motor**  
volume ;100%

PM motors achieve small & compact size saving natural resources.



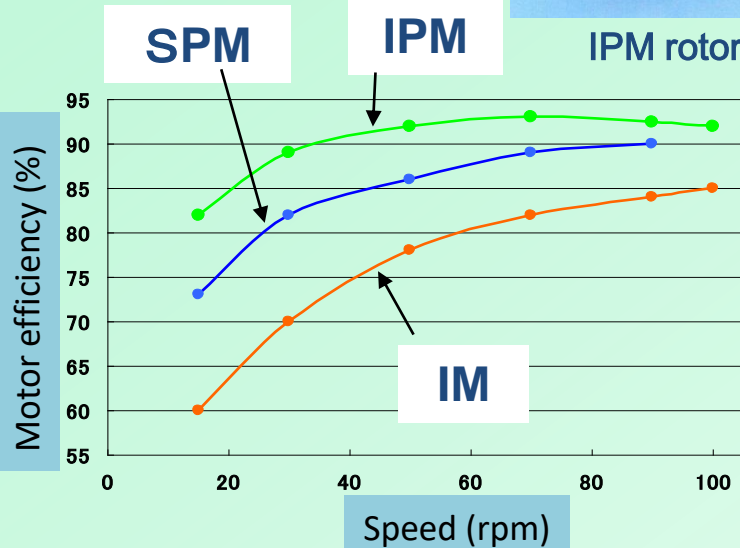
## PM motor is more efficient than induction motor



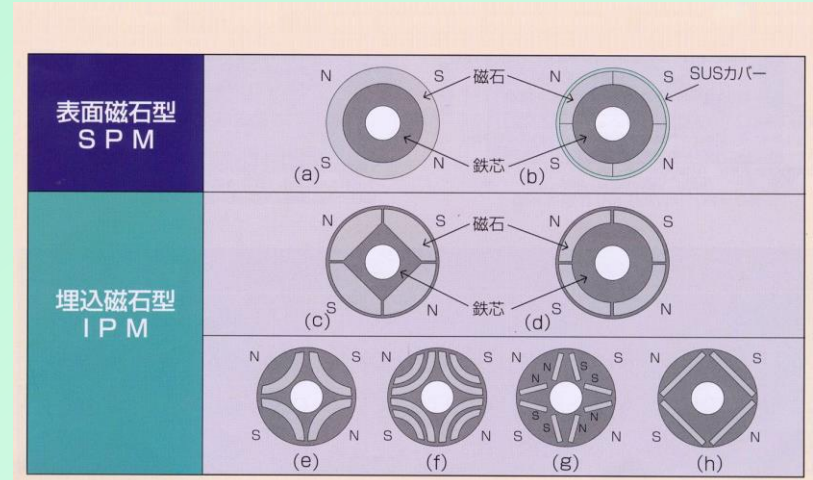
Inverter air-con



IPM rotor



Comparison of Motor efficiency



Different magnet position of SPM and IPM Motor

IM ; Induction Motor

PM; Permanent magnet motor

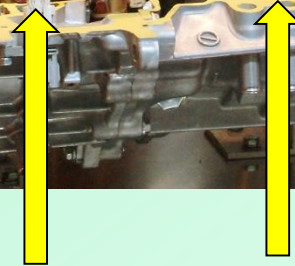
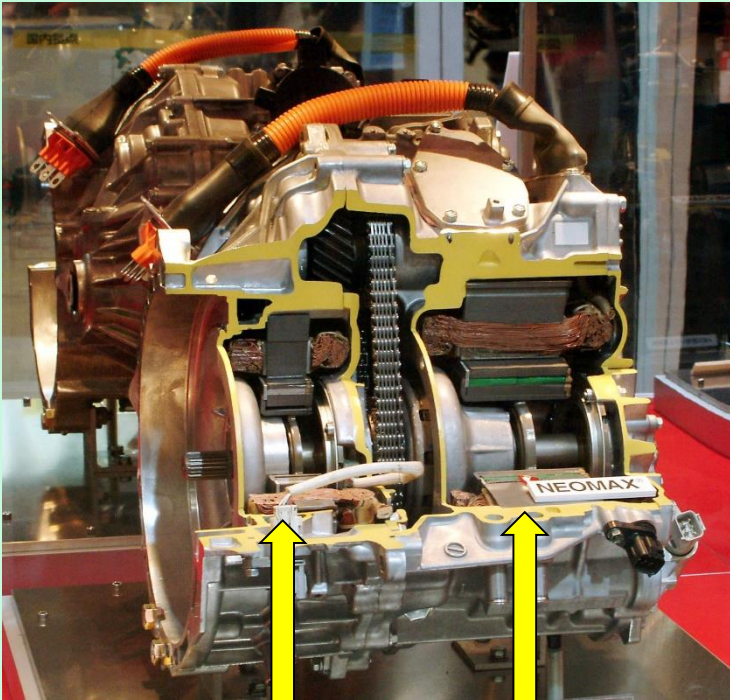
\*SPM (Surface permanent magnet);

\*IPM(Interior permanent magnet);



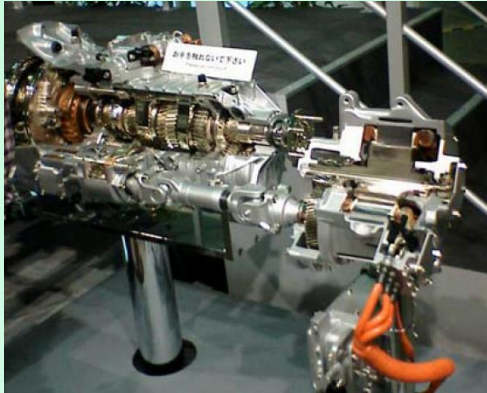
# HEV(Hybrid Electric Vehicle) & EV

PRIUS Hybrid system

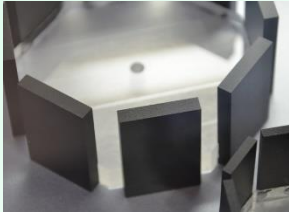
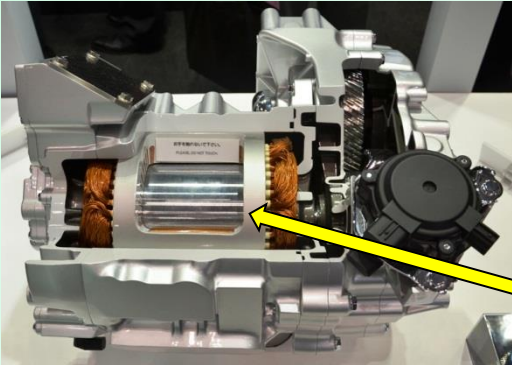


Nd magnet generator

Diesel HEV of truck company



EV and Nd magnet



Nd magnet Motor

# Future application; Wind mill generater

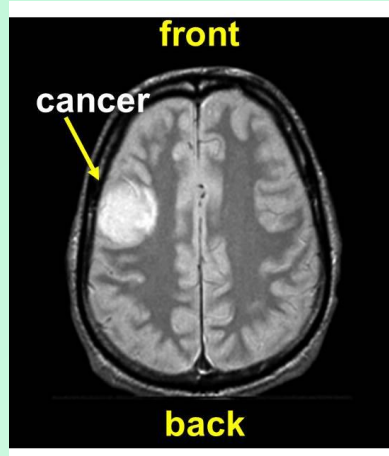


Type	Horizontal Type
Blade	<b>3</b>
Blade diameter)	<b>15m</b>
Hub height	<b>22m</b>
Rated power	<b>40KW</b>
Generator	<b>NdFeB magnet</b>
Rated speed	<b>11 m/sec</b>



# Permanent Magnet Type MRI

## Superconductive type



## Permanent Magnet type

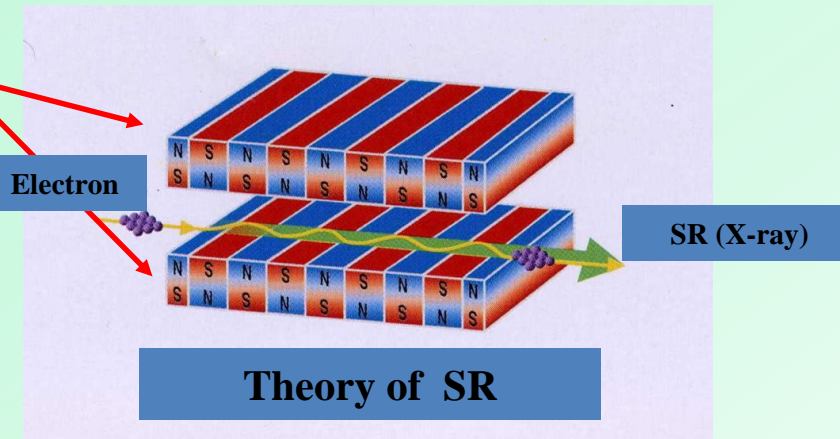


- First Mass-production in Japan in late 1980'
- Magnetic Field; 0.2-0.4 Tesla
- Weight; 10-20 Ton
- Compact (less than half space of SC type)
- Non running cost (No Helium etc)
- No magnetic shielding is necessary

## Undulator/ Wiggler for SR (Synchrotron radiation)

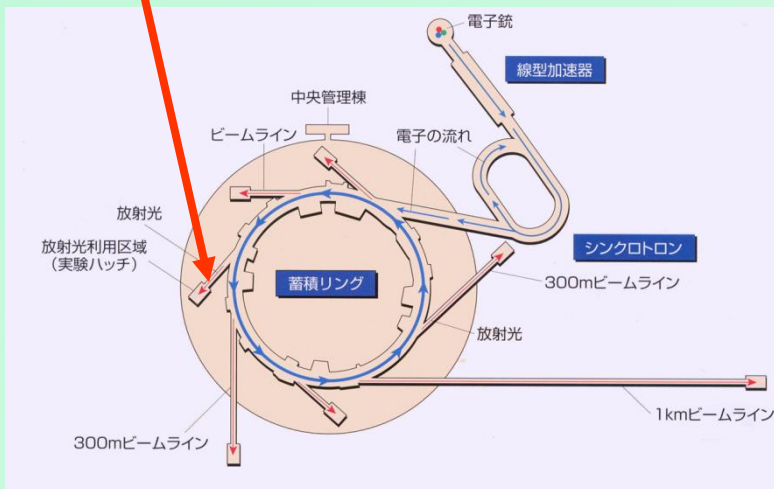
**Xray;  $\times 10^4$  high density beam line**

**Two arrays  
of NdFeB  
magnets**



Spring-8; (Nishiharima)

### Undulator

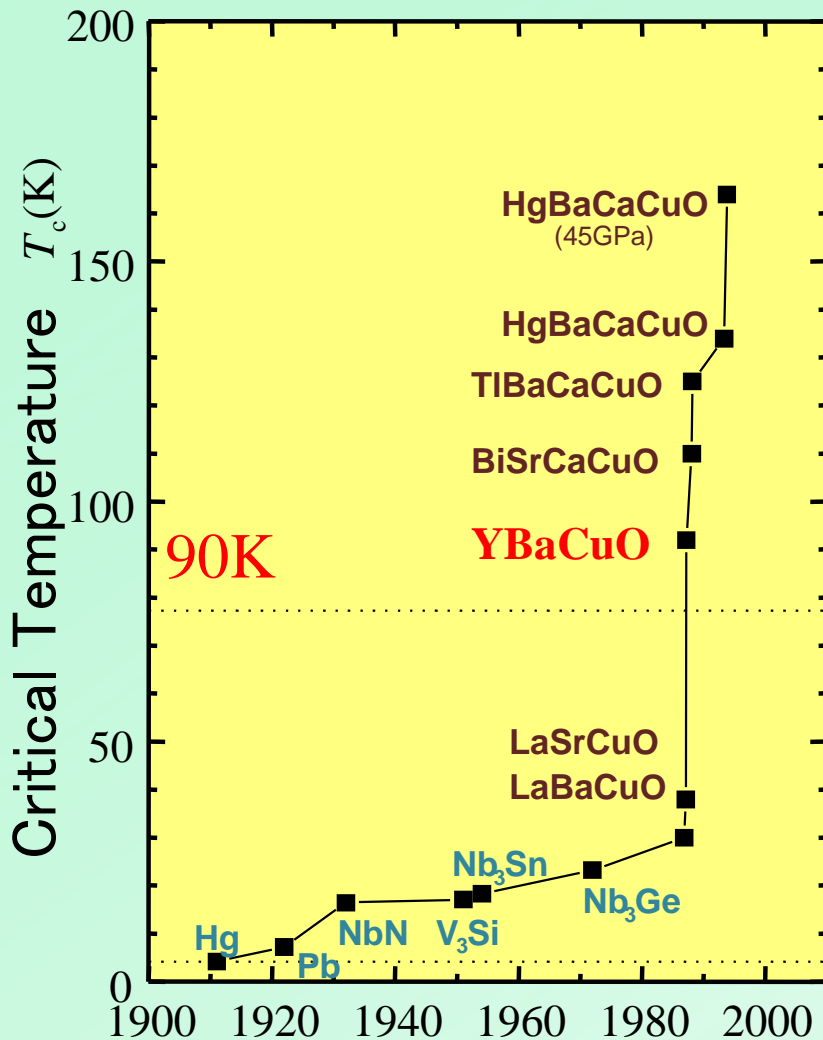


Electron; accelerator → synchrotron ring  
→ storage ring → undulator in the beam line



In-vacuum type  
NdFeB magnet undulator

# High Temperature Superconductors



- HTS were Discovered in Switzerland in 1986

- High  $T_c$  means higher  $T_c$  than that of conventional compounds

- Oxygen Compounds

- La-Ba-Cu-O
  - ( $T_c=32K$ )
- Y-Ba-Cu-O
  - ( $T_c=90K$ )

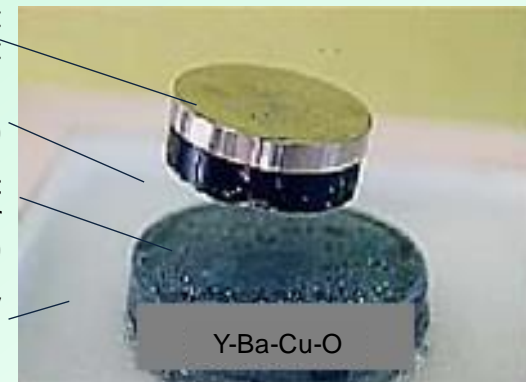
### New Compounds

- MgB<sub>2</sub>  
J. Akimitsu 2001  
( $T_c=39K$ )
- LnFeAs(O,F)  
H. Hosono 2008  
( $T_c=55K$  at present)

Liquid N<sub>2</sub>  
(77K)

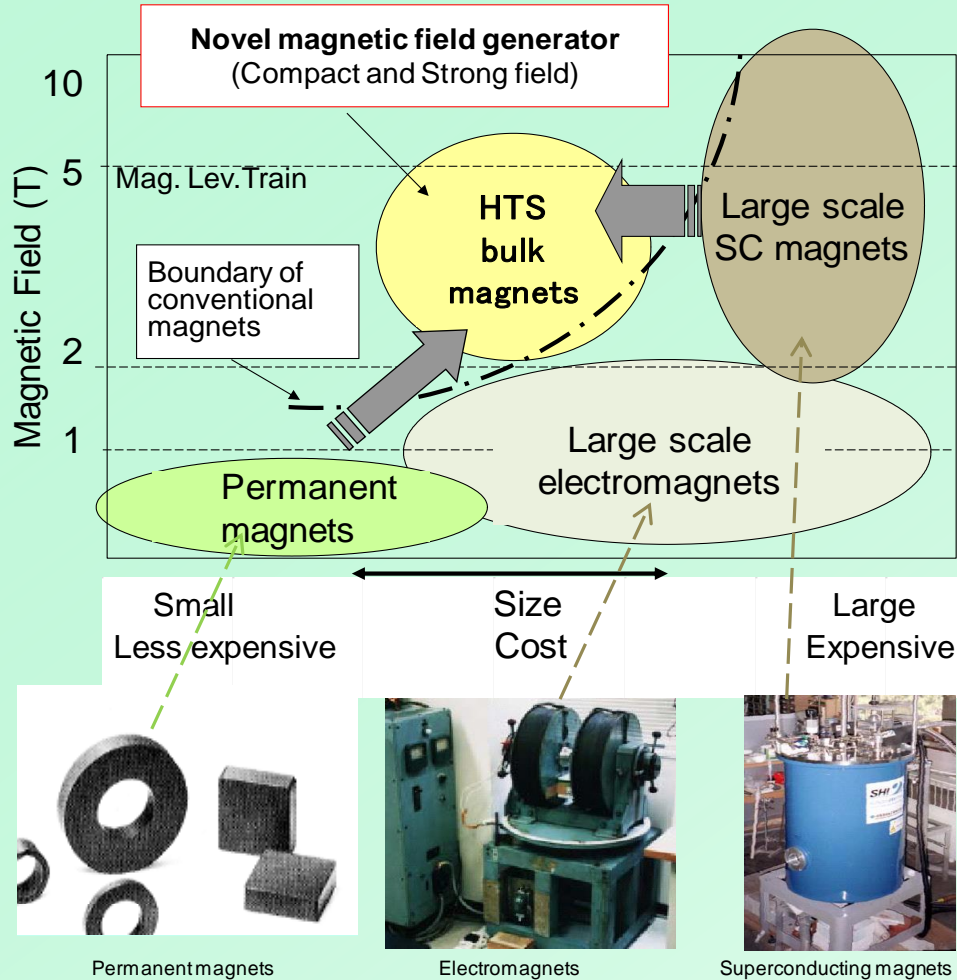
Liquid He  
(4.2K)

Permanent magnet  
Liquid nitrogen (77K)  
High  $T_c$  superconductor (Y-Ba-Cu-O)  
Thermally insulated vessel



Superconducting levitation model

# Industrial Applications of HTS Bulk Magnets

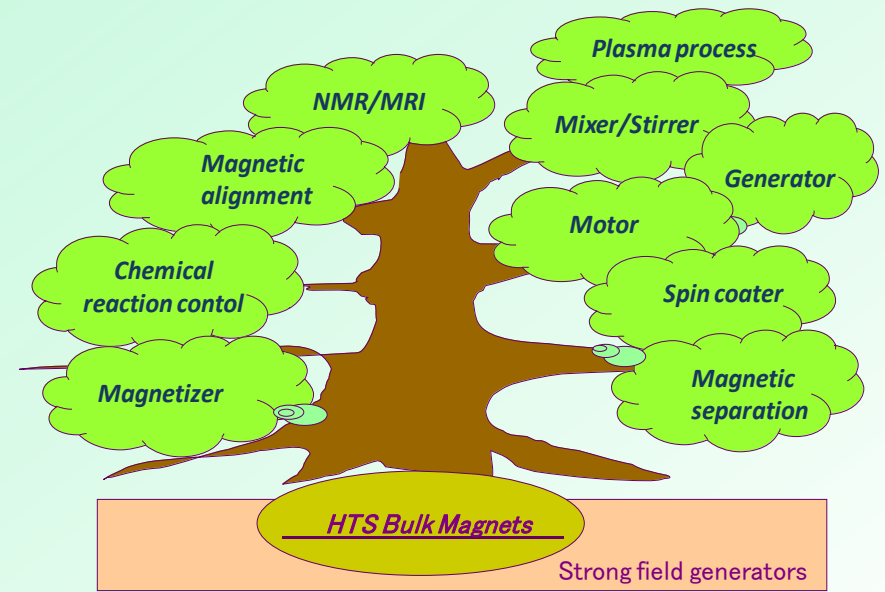


Compact HTS bulk magnet system

**Features**

- ✓ Strong Field
- ✓ Stable
- ✓ Compact
- ✓ Localized flux
- ✓ Less Strayed Field

Industrial applications of HTS bulk magnets



The features of HTS bulk magnet are its compactness and strong field.



## フェロ&ピコシステム研究部

 お問い合わせ

お問合せボタンをクリックすると、問い合わせ入力ページが開きます。  
お気軽にお問合せください。