

## 報告：「寺子屋 BM 塾」 2020 年後期講座 第 28 期 BM 初心者講座

理事兼寺子屋 BM 塾 塾長  
元・日立金属(株)  
徳永 雅亮

2020 年度前期（第 27 期）の寺子屋 BM 塾は新型コロナのために中止せざるを得ない状況に追い込まれた。新型コロナ対策として、第 28 期は Webex での開催に変更した。各論講義は開始時刻を 15:00 からとし、講義時間を 2 時間に短縮した。

2020 年度後期の BM 塾では、①「永久磁石の基礎」、②「永久磁石測定法 1」及び③「永久磁石測定方法 2」の 3 各論講義を取り上げた。これらは永久磁石に係る人々にとって基本が勉強できるテーマである。

### 第 1 講

2020 年 10 月 16 日（金）@ Webex

講義：各論講義「永久磁石の基礎」



講師：山本 日登志（ネオジコンサル）

#### 概要：

- 1) 電気回路と磁気回路の類似性と差異、
- 2) パーミアン法による磁気回路の設計、
- 3) 反磁場とその理解の重要性及びパーミアン係数

受講生総数：72 名

記事：今回の山本先生による永久磁石関連の 3 回連続講義は「永久磁石と永久磁石測定方法の基礎」をわかりやすく説明することに主眼を置いて頂いた。なお、本講義の内容は山本先生の著作である「永久磁石の基礎と永久磁石測定方法」（ネオジコンサル社刊、2019）の内容をベースとしているので、参考にして頂きたい。

電磁現象は以下に示す Maxwell 方程式で記述される。表現方法は以下の微分又は積分形式が用いられる。

$$\text{div } \mathbf{B} = 0 \quad \text{又は} \quad \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, ds = 0 \quad (\text{B の式})$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = 0 \quad \text{又は} \quad \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = 0 \quad (\text{H の式})$$

B の式は磁荷が存在せず、磁気モーメントの存在（磁荷の対）を反

映している。H の式は磁気回路では電流が存在せず、右辺がゼロとなる。

永久磁石の基本式は cgs 単位系で

$$\mathbf{B} = \mathbf{H} + \mathbf{J}^* (\mathbf{J}^* = 4\pi\mathbf{M})$$

と表され、パーミアン係数 ( $P_c$ ) は  $P_c = \mathbf{B}/\mathbf{H}$  となる。ここで、 $\mathbf{B}$  は磁束密度、 $\mathbf{H}$  は磁界、 $\mathbf{M}$  は磁化である。 $\mathbf{J}^*$  は  $4\pi\mathbf{M}$  を表すが、MKS 単位系の磁気分極とは異なるので注意して頂きたい。本講演では磁気回路を扱うために表現と説明の簡便さが得られる cgs 単位系を用いる。磁石の評価は  $\mathbf{J}-\mathbf{H}$  カーブが、磁石応用では  $\mathbf{B}-\mathbf{H}$  カーブが便利である。磁石応用では磁石の発生する  $\mathbf{B}$  を使うからであり、両カーブの相互変換は  $\mathbf{B} = \mathbf{H} + \mathbf{J}$  の関係を使って行う。

磁石が空気中に存在すると、磁石から  $\mathbf{H}$ （磁力線）が空気中に放出され、磁石に戻る。磁石及び空気の透磁率 ( $\mu_m$ ) はほぼ 1 である。したがって、磁力線の通り易さは磁石の中でも、空気中でも同等であり、磁力線は空気中に容易に漏れる。一方、銅線の電気伝導度 ( $\sigma$ ) は  $\sigma = 5.6 \times 10^7 (1/\Omega \cdot \text{m})$ 、空気の電気伝導度はほぼゼロであるため、銅線中の電流は空気中には漏れない。このような「漏れる」という磁気性格から磁気特性の有効数字は 3 桁、測定精度  $\pm 1\%$  になる。既に一部述べたが、電気には電荷が存在するが、磁気には磁荷が存在せず、磁荷の対（N 極と S 極のペアと言っても良い。）である磁気モーメントを用いて論理が構築されている。

磁気回路における磁束及び起磁力に注目し、磁束を電流に、起磁力を電圧に対応させて、磁気回路を等価的な電気回路に置換えて解析する方法が最も古典的で、最初に勉強する手法になっている。前掲の  $\text{div } \mathbf{B} = 0$  は磁束密度の発散がゼロ、湧き出し量がゼロで、閉ループを形成し、連続であることを示している。鉄ヨークと磁石からなるギャップのある直列的な磁気回路では B について

$$B_m A_m = B_g A_g + \sum_e B_e A_e = \sigma B_g A_g$$

という近似式が導かれる。ここで、 $B_m$ ：ギャップの磁束密度、 $A_m$ ：磁石の断面積、 $B_g$ ：ギャップの磁束密度、 $A_g$ ：ギャップの断面積、 $B_e$ ：漏洩磁束密度、 $A_e$ ：漏洩磁路の断面積（ $\Sigma$ は漏洩部の総和を表す。）、 $\sigma$ ：漏れ係数である。漏れ係数  $\sigma$  は磁石から出た総磁束  $B_m$  に対して、ギャップ空間外にどの程度磁束が漏れているかを示す係数ある。 $\sigma$  は経験的に求められ、通常  $\sigma = 1.1 \sim 1.2$  程度である。前掲の  $\text{rot } \mathbf{H} = 0$  は磁気回路においては電流が存在しないことを意味している。H については以下の近似式が導かれる。

$$H_m L_m = B_g L_g + \int_e H_e L_e = f B_g L_g$$

ここで、 $H_m$ ：磁石内部の磁場、 $L_m$ ：磁石の長さ、 $B_g$ ：ギャップの磁束密度、 $L_g$ ：ギャップの長さ、 $H_e$ ：ギャップ以外の磁場の強さ、 $L_e$ ：ギャップ以外の磁場のかかっている部分の長さ、 $f$ ：起磁力損失係数である。起磁力損失係数  $f$  は磁石が発生する起磁力 ( $H_m L_m$ ) から出た磁場  $H_m$  がギャップに到達する間に低下する磁場の量のようなものである。磁気回路の鉄ヨークや接着層による損失が生じ、この損失量を起磁力損失  $f$  で定義する。経験的に  $f = 1.1 \sim 1.3$  が仮定される。以上で、 $\mathbf{B}$  と  $\mathbf{H}$  に関する Maxwell 方程式を磁気回路に適用して表現することができた。

磁気回路を考える際に必ず現れるパーミアン ( $P$ ) を見てみよう。パーミアンは磁気抵抗の逆数であり、磁気回路解析において並列計算が適用でき、計算を簡単に行うことができる。磁気回路の各部の  $P$  が定

義可能で、ある磁気回路の断面積をある磁気回路の長さで割ったもので、長さの次元を持つ。空気中に単独で存在する磁石の場合は、S. Evershed によって以下のように計算されている。

$$P_m = \sqrt{(S/2)\pi}$$

ここで、 $S$  は磁石の全面積である。パーミアンス ( $P_m$ ) に磁石の長さ ( $L_m$ ) を掛け、磁石の面積 ( $A_m$ ) と起磁力損失 ( $f$ ) で割れば、無次元のパーミアンス係数 ( $P_c$ ) が得られる。

$$P_c = \frac{L_m P_m}{A_m f} = \frac{B_m}{H_m}$$

$P_c$  は  $P_m$ 、 $L_m$  及び  $A_m$  の関数であるが、総て対象とする磁石の寸法に関数でもある。すなわち、磁石の材質やその磁気特性には全く依存しない幾何学的なパラメータであることが理解できる。 $B_m$  及び  $H_m$  は減磁曲線上の磁石形状で決定される動作点における  $B$  と  $H$  である。

次に、反磁界を考える。着磁された磁石には必ず反磁界 ( $H_d$ ) がかる。反磁界は  $H_d = NJ/\mu_0$  で表され、磁石の磁気分極 ( $J$ ) と逆の方向を向いている。 $N$  は反磁界係数と呼ばれ、磁石形状に依存している。磁化による磁極が磁石の磁化方向の端面に発生し、この磁極が反磁界の基となる。磁界 ( $H_{ex}$ ) 中の磁石の有効磁界 ( $H_{eff}$ ) は反磁界の発生により、 $H_{eff} = H_{ex} + H_d$  となる。反磁界係数は上述の  $P_c$  と以下の関係で結ばれている。

$$P_c = \frac{1}{N} - 1$$

磁石形状が回転楕円体でない場合、 $N$  は磁石内部で一定ではない。従って、 $P_c$  も反磁界も磁石内部で分布をもつことになる。特に、反磁界が磁石内部で分布を持つために、熱減磁が磁石内部で一様でないことに注意しなければならない。反磁界の大きい場所ほど熱減磁は大きくなる。磁石に穴を形成すると局所の反磁界分布が変化し、熱減磁も複雑に変化する。最近では電磁界解析によって磁石局所の  $B$  やギャップ間の  $H$  が計算可能になっている。反磁界の不均一性も明快に計算でき、グラフィック表示される。

初めての Web 開催であったが、学生を含めた 72 名の参加があった。On-site 開催と比べて、移動の時間を必要としないことが参加者の増加につながったものと考えられる。一方で、塾生からの質問はタイミングが見つけ難く、決められた質問時間まで待つというスタイルになった。この点は BM 寺子屋塾の良さを維持できない新たな問題と認識させられた。

## 第 2 講

2020 年 11 月 20 日 (金) @ Webex

講義：各論講義「永久磁石測定方法 1」

講師：山本 日登志 (ネオジコンサル)

概要：

- 1) 減磁曲線の見方 & 考え方、
- 2) 温度特性、着磁特性

受講者数：71 名

記事：最初に異方性磁石の配向に関する話題提供があった。アーク形状磁石の配向には平行配向とラジアル配向がある。いずれも応用に必要な表面磁束を実現するために、成形金型に併設される磁気回路が設計

される。アーク磁石から切出したサンプルの磁気測定によって配向角度や磁気特性を確認する。永久磁石の表面磁束等の機能を表現する場合は磁束密度 ( $B$ ) が用いられる。電流起源の場合ではビオ・サバルの法則から磁場 ( $H$ ) を用いる。

永久磁石の磁気特性は  $J$ - $H$  カーブと  $B$ - $H$  カーブで表現可能である。両カーブは  $B=J+H$  の関係式を用いて相互に変換できる。磁石材料の評価には  $J$ - $H$  カーブが、モータ設計や磁場解析には  $B$ - $H$  カーブが用いられる。応用において利用するのは磁石の発生する磁束密度だからである。減磁カーブの角型の指標として、 $H_k$  や  $H_k/H_{cJ}$  が用いられる。 $H_k$  は一般に  $J$ - $H$  カーブ上で  $J$  が  $J_r$  の 90% になる減磁界を表す。特に、 $H_k$  95 と表現する場合は  $J$  が  $J_r$  の 95% になる減磁界をさす。 $H_{cJ}$  の異なる磁石の角型を比較する場合は  $H_{cJ}$  でノーマライズした  $H_k/H_{cJ}$  が用いられる。熱安定性を重要視する応用では、用いる磁石の磁気特性の中で保磁力、 $H_k$  及び  $H_k/H_{cJ}$  を熱安定性の指標として用いることが多い。最近では保磁力の絶対値よりも、 $H_k$  及び  $H_k/H_{cJ}$  を評価して永久磁石の特性品質を確認するように変化している。

減磁カーブは部分磁石の体積加算で考える。異方性方向に平行に同一体積で同一の  $J_r$  を有する高保磁力磁石と低保磁力磁石を 2 枚貼り合わせた磁石では、減磁カーブ上に低保磁力磁石の保磁力に相当する減磁界でクニックが現れ、 $J$  は半分まで低下する。更に、減磁界を増加すると高保磁力磁石の保磁力で  $J$  がゼロになる。この考え方は Nd-Fe-B 焼結磁石の加工劣化にも適用できる。加工劣化は磁石の大きさ ( $S/V$ 、 $S$ ：磁石の表面積、 $V$ ：磁石の体積) に依存し、磁石が小さいほど、 $S/V$  が大きいほど、加工劣化の影響が減磁カーブに現れ、結果として  $H_k$  95 が低下する。4.0、1.0 及び 0.5mm 立方体の Nd-Fe-B 焼結磁石の減磁カーブを比較すると、4.0mm 立方体ではわずかに低磁界に加工劣化によるクニックが見られるが、1.0 及び 0.5mm 立方体では明瞭に加工劣化が観察される。永久磁石モータでは小型化と低コスト設計によって磁石の薄型化が進展し、モータ設計においても加工劣化を念頭においた熱減磁対策が重要になる。

Nd-Fe-B 焼結磁石の配向度や配向の様子を把握するために、磁石から切出した局部磁石の評価が行われる。ベースとなるデータは配向方向の決定された磁石の角度依存性データ (角度は異方性方向と磁場印加方向のなす角度  $\theta$ ) である。 $B_r$  は  $\theta$  の増大と共に低下し、 $H_{cJ}$  は  $\theta$  の増大と共に  $1/\cos\theta$  に比例して増加する。

測定機器であるパルス励磁式磁気特性測定装置 (パルス  $B$ - $H$  トレーサ) は開磁路測定で、磁気特性の温度変化データも取得し易い構造になっている。日常管理のトレーサビリティが TiN コートされた標準 Nd-Fe-B 焼結磁石を用いて実施されている。測定系の履歴管理であり、測定温度、 $B_r$  及び  $H_{cJ}$  のデータを用いて管理することが多い。

フェライトの保磁力の温度係数 [ $\beta$  (%/°C)] はプラスである。従って、低温における保磁力の低下は低温減磁という形で現れる。フェライトの  $\beta$  は +0.13 ~ +0.50%/°C と材質による差が大きいので注意が必要である。-60°C からの低温における磁気測定は VSM が用いられ、反磁界補正の上評価される。温度変化の測定データは温度の 2 次の近似式で整理され、1 次の項が温度係数になる。フェライトの低温減磁及び Nd-Fe-B 焼結磁石の高温減磁は  $B$ - $H$  カーブを用いて算定できる。磁石メーカー各社のカタログに詳細な説明があるので、勉強して欲しい。ポイントは問題になる温度における  $B$ - $H$  カーブにおいて磁石の動作点がクニッ



# BM インフォメーション

クの下に来ると減磁が生じることにある。減磁は逆磁界に印加によっても生じる。これは J-H カーブを用いて算定できる。磁石単体の減磁量の実測はクロース・フィットコイルを用いて行われる。恒温槽内に磁石を設置し、クロース・フィットコイルを自動掃引して、各温度における磁束量を引き抜き法で測定する。減磁量と加熱温度の関係として得られる減磁量は上述の算定値や電磁解析シミュレーションで得られる値よりも大きい。その理由は電磁解析では磁石のパラツキや  $H_k$  の評価が含まれていないためである。

次に着磁の問題を考えよう。Nd-Fe-B 焼結磁石の初磁化曲線はよく知られているように急峻に立ち上がる。この部分は磁壁移動で説明されている。熱脱磁後の結晶粒内部に磁壁が存在し、磁場印加によって磁壁が移動して磁化が進行する。熱脱磁後は N 極と S 極を示す磁区が混在し、トータルとして外部に磁束密度を発生させない。磁壁移動とともに N 極又は S 極を示す磁区のみとなり、着磁が完了する。逆に、着磁後に 140℃ x2h の加熱を行うと、磁壁が存在する多磁区化した結晶粒が局所的に観察され、これが熱減磁の正体である。加熱による多磁区化は粒径の大きい結晶粒で観察される。従って、粗大粒の多い Nd-Fe-B 焼結磁石では保磁力、 $H_k$  ともに低下する。粗大結晶粒は基本的に磁気特性を低下させるため、その発生を阻止する製造プロセスが重要となる。磁区の見え方は c 面と ab 面では異なり、c 面ではメイズパターン、ab 面では柱状のパターンが観察される。

着磁性は磁石の材質とその保磁力メカニズム、保磁力の絶対値、異方性が等方性か、によって様々に変化する。従って、飽和着磁するために必要な磁界強度を慎重に決定する必要がある。異方性磁石であっても、配向度の低い磁石は着磁性が悪い。必要があれば、実験的に決定することが求められる。不完全着磁の場合は得られる磁束密度が低下し、また、熱安定性にも悪影響を与える。

初磁化曲線に典型的にあらわれるように、保磁力のメカニズムによって着磁性は異なってくる。一般に、ニュークリエーション型に整理されるのは SmCo<sub>5</sub> 系、Nd-Fe-B 系焼結磁石であり、ピンニング型に整理されるのは Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 系焼結磁石である。

本各論講義では第 1 回目の講義の復習を含めて、基礎的に減磁カーブ、温度特性及び着磁特性を学んだ。これらテーマは相互に関連性があり、講義では、適宜スライドを再提示して頂き、理解しやすい様に工夫された。

## 第 3 講

2020 年 12 月 11 日 (金) @ Webex

講義：各論講義「永久磁石測定方法 2」

講師：山本 日登志 (ネオジコンサル)

概要：

- 1) 永久磁石国際規格 (IEC 国際規格)、
- 2) 直流 BH トレーサ、パルス BH トレーサ、
- 3) VSM

受講者数：71 名

記事：まず、第 1 回及び第 2 回の復習からスタートした。

- ①測定系は日常管理トレーサビリティで管理すること、
- ②開磁路磁気特性評価は漏れを前提として構築されていること、
- ③電気回路と磁気回路を比較し、その差を理解すること、

④パルス B-H トレーサと直流 B-H トレーサの測定値の比較が改めて説明された。

Nd-Fe-B 系粒界拡散磁石は表面に Tb や Dy の酸化物や合金を塗布、拡散した「次世代 Nd-Fe-B 系磁石」である。1 例を示すと、粒界拡散前後の  $B_r$  の低下は 0.021 T (1.414 T → 1.393 T) と小さいが、 $H_{cJ}$  の向上は 0.79 MA/m (1.057 MA/m → 1.847 MA/m) と非常に大きい。Dy を粒界拡散した磁石を切り刻んで、表面から内部に微小磁石をサンプリングして磁気測定すると、磁石表面からの深さに対して保磁力は低下してゆく。同時に Dy 含有量も低下してゆく。従って、粒界拡散磁石は Dy、Tb の傾斜組成を有する「傾斜機能磁石」と言うことができる。しかも、Dy や Tb の粒界拡散が届いていない磁石内部の保磁力に相当する磁場を印加しても内部減磁は起こらない。拡散層の深さ方向の磁気特性の確認には粒界拡散磁石を加工によって微小試料を切出し、パルス B-H トレーサで測定されるが、微小試料の測定には開磁路測定に起因する磁束の漏れを考慮した微小磁石専用の J コイルを設計する必要がある。

磁石測定法の国際規格は IEC/TC68 が担当している。TC68 は磁性材料及び磁気測定の国際規格を議論し、制定する技術委員会 (TC: Technical Committee) である。なお、TC68 には 5 つの WG (Working Group) があり、WG5 が永久磁石関係を担当している。

グローバル化社会では永久磁石も国境を越えて取引される。磁石の磁気測定値が磁石生産国と磁石応用国で異なると、磁石ビジネスが回りにくい。このような場合は特性の異なる磁石を複数個相互に測定を行い、検量線による測定値の読み直しが行われる。磁石ユーザが磁気特性指定値を一定にして、複数の磁石メーカーに磁石提供を依頼した場合、納入される磁気特性に差のある事は広く知られている。磁石ユーザと磁石メーカーの検量線 (特性の相関直線) を用いて、品質管理が行われることが多い。

永久磁石の磁気測定には

- ①直流 B-H トレーサ
- ② VSM
- ③パルス B-H トレーサ

が用いられている。

試料のサイズ、印加磁界強度及び測定温度等によって使い分けられている。直流 B-H トレーサは最も基本的な測定系で、閉磁路を用い、渦電流補正と反磁界補正が不要である。ISO-9000 トレーサビリティ体系が整備され、測定系としての管理も行い易い。測定用試料の寸法公差は、市販 Nd-Fe-B 磁石の最小保証寸法である ± 0.03mm を用いれば、直流 B-H トレーサとパルス B-H トレーサでは問題は生じない。しかし、パルス B-H トレーサの標準外寸法と VSM では ± 0.01mm の公差を用いる必要がある。なお、パルス B-H トレーサの標準寸法は 7 x 7 x 7 (mm<sup>3</sup>) である。

標準寸法を有する磁石のパルス B-H トレーサの測定値を直流 B-H トレーサとの比較でみると、 $H_{cJ}$  の測定値は直流 B-H トレーサの測定値よりも高くなる傾向がある。これは渦電流の影響と考えられ、磁石の寸法、材質及びパルスの周波数によって変化する。パルス B-H トレーサによる磁気測定は開磁路測定なので、反磁界補正が必要になるが、試料形状が回転楕円体でないために、 $P_c$  が試料内部で分布を持つという点も注意が必要である。両測定法による減磁カーブの完全な一致はない。

パルス  $B-H$  トレーサには 200℃までの温度調節機能も付加されており、磁石の温度特性評価にも使用できる。パルス  $B-H$  トレーサは生産現場管理に広く使用されており、その際、直流  $B-H$  トレーサとの検量線による特性値の読み替えが行われている。

最近の Nd-Fe-B 焼結磁石の磁気特性が向上し、応用される磁石の厚みは薄くなってきている。このような薄い磁石の磁気特性の評価が必要な場合は、薄い磁石を積層して測定することになる。厚み 1、1.75、2.34、3.5、7 mm の磁石をそれぞれ、7、4、3、2、1 枚積層し、7 mm 立方体試料を作製し、磁気測定を行った。磁石厚みの低下とともに総ての磁気特性は低下する。特に  $H_k$  90 の低下が大きい。厚みの薄い磁石ほど加工劣化の影響が大きいからである。同様に 7 mm 立方体と 1.3 mm 立方体を比較しても加工劣化は微小磁石ほど大きく表れる。

一般にパルス  $B-H$  トレーサでは用いるパルス周波数や試料の電気抵抗によって渦電流効果に変化する。電気抵抗の異なる  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  磁石の測定では Nd-Fe-B 系磁石とは異なる渦電流補正が必要となる。

次に VSM (Vibrating Sample Magnetometer) を説明する。名称の通り、試料を一定の振動数及び一定の振幅で振動させ、電磁誘導によって磁化検出コイルに誘導電流が流れる。この誘導電流を積分して試料の磁化を測定する。その特徴は①感度が非常に高い、②常磁性、反磁性の測定が可能、③液体窒素温度から 900℃までの連続測定が可能、④磁場中加熱、冷却を行うことができるという 4 点がある。試料は磁気双極子近似可能なサイズとし、測定された磁化 ( $\sigma$ ) から以下の式によって磁気分極が得られる。

$$M = \sigma \rho / m, \quad J = 4\pi M$$

ここで、 $\sigma$  (emu): VSM で測定した磁化、 $m$  (g): 試料重量、 $\rho$  (g/cm<sup>3</sup>): 試料密度、 $M$  (emu/cm<sup>3</sup>): 磁化、 $J$  (gauss): 磁気分極である。単位は cgs である。粉末の磁気特性の測定ができるのが特徴で、試料粉末をパラフィンで「磁場配向」すれば、異方性磁場 ( $H_A$ ) の測定ができる。

以下は VSM による測定例である。加工劣化の少ない Nd-Fe-B 系焼結磁石を用いて、 $2 \times 2 \times t$  ( $t=1.0, 0.5, 0.3, 0.1\text{mm}$ ) 寸法の測定がされている。 $2 \times 2 \times 0.1(\text{mm}^3)$  の MEMS 応用の微小磁石では  $213 \text{ kJ/m}^3$  の  $(BH)_{\text{max}}$  が得られている。SUS-304 の加工誘起マルテンサイト変態歪を透磁率によって評価されている。厚さ  $17.3 \mu\text{m}$  の PLD 法による Nd-Fe-B 系厚膜磁石の磁気特性も評価できる。キュリー点測定は VSM の最も得意な測定分野である。

VSM 測定における磁化の校正の基本は試料形状と同一形状の Ni を用いることにある。代表的な Ni の飽和磁化値は① 1989 年理科年表による 6074.1 G、② JIS C 2501(2019) 記載の 6102 G がある。最近の NIST の Ni 標準サンプルでは Ni の磁化を印加磁界と温度の関数で示し、5 kOe の印加磁界における磁化を校正に用いることを推奨している。VSM による磁気測定値は Ni 標準試料による校正方法によって変化することに注意する必要がある。

山本先生が勤務されていた KRI に依頼できることは磁石の精密加工、トレーサピリティー用磁石の提供、粒界拡散磁石の切出しサンプルによる評価等を含め非常に間口が広い。磁石関連で問題があれば、KRI にご相談されることをリコメンドしたい。

## 2021 年前期講座予定

第 29 期 BM 塾では、「磁気応用」を取り上げる。

### 第 1 講

2021 年 5 月 28 日 (金) @ Webex

講義: 各論「回転機」

講師: 中村 健二 (東北大学 教授)

### 第 2 講

2021 年 6 月 17 日 (木) @ Webex

講義: 各論「静止器」

講師: 中村 健二 (東北大学 教授)

### 第 3 講

2020 年 7 月 16 日 (金) @ Webex

講義: 各論「解析技術」

講師: 中村 健二 (東北大学 教授)

以上