

次代を担うMagnetics技術開発

20世紀はElectronicsの時代、21世紀はMagneticsの時代

- 1章 マグネデザインの紹介**
- 2章 Magnetics技術入門**
- 3章 ビッグデータ時代と当社のGSR磁気センサ**
- 4章 エネルギー革命と当社の新磁石**
- 5章 提言 Magnetics未来産業創出戦略**

2023年10月6日

本蔵義信

工学博士

マグネデザイン(株)代表取締役社長

元日本磁気学会副会長

1章 マグネデザイン(株)の紹介 (1)講演者自己紹介

略歴

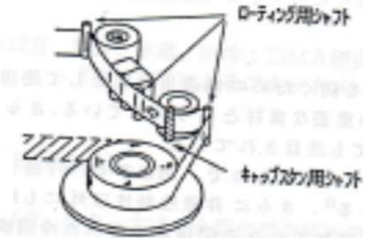
- ・名古屋大学: 応用物理学科で博士号を取得
- ・愛知製鋼: 電磁事業を設立・育成 専務取締役
- ・日本磁気学会: 副会長就任
- ・マグネデザイン社設立 代表取締役

開発経歴

Magneticsの**要素技術**(磁石・磁性材料・非磁性材料・電磁コイル)の全てを経験
 →それを複合利用する**磁気回路を設計**する専門家
 * Magne-Design社の名前の由来

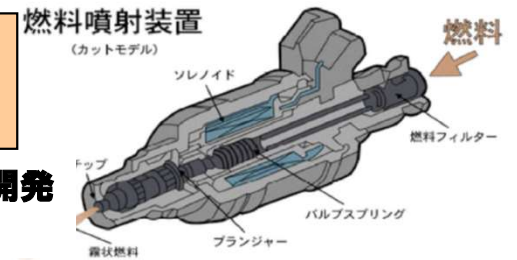
1975年～
非磁性ステンレス

VTRマクロシャフトに採用 100%市場独占



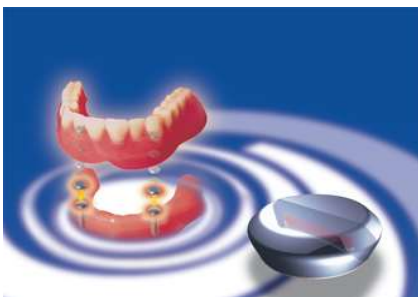
1985年～
軟磁性ステンレス

EFI用磁性ステンレス鋼AUM25を開発
トヨタ、Boschに採用



1988年～
デンタル磁石

NHK国際報道で紹介
世界初 磁性アタッチメントを解発
1995年特許庁長官賞を受賞



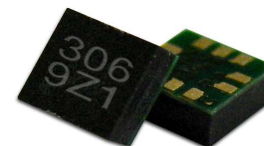
1992年～
Dyフリーボンド磁石

2012年 山崎貞一賞を受賞
2005年 トヨタ技術開発賞を受賞



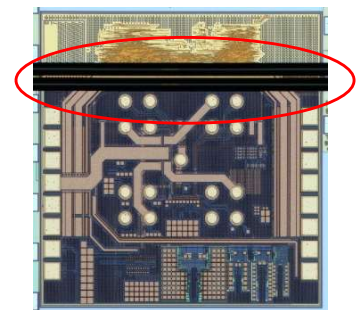
1997年～
磁気MIセンサ

2012年産官学連携功労
文部科学大臣賞を受賞
世界1の電子コンパスを開発



2012年～
GSRセンサ

NHK国際報道で紹介



(2) マグネデザイン(株)の会社概要

【経営理念】

20世紀はElectronicsの時代、21世紀はMagneticsの時代

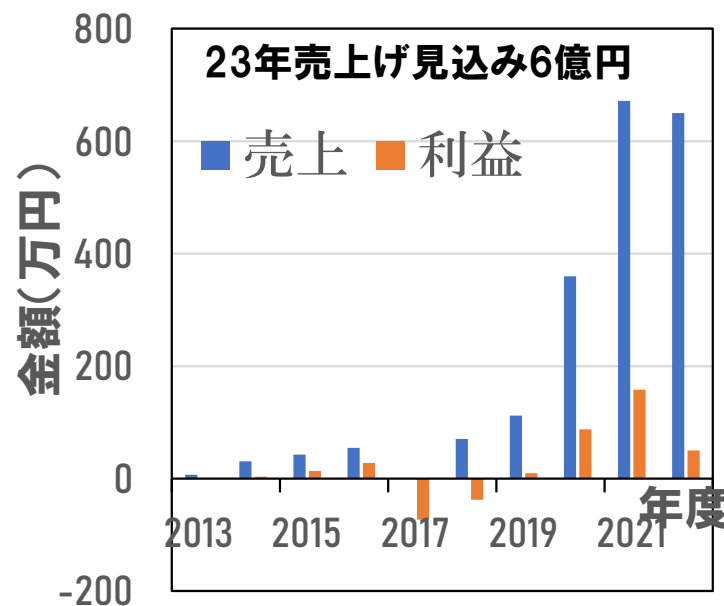
マグネデザイン美浜研究所



【沿革】

- 12年 本蔵がMDCを設立
- 15年 磁気センサの**GSR原理**を発見
→NHK報道で紹介
- 16年 名古屋市のナビ白金施設に移転
→クリンルームを建設
- 20年 GSRセンサ商品開発
→サンプルをJAXAに販売
- 22年 **美浜町に研究所**を設立
- 23年 医療用GSRセンサ事業に着手

MDC の売上と利益



(3) マグネデザイン(株)の美浜研究所紹介

世界最高水準のMagnetics研究設備

実験室 1 : クリーンルーム
3次元微細加工技術の開発



実験室2 : 新素材研究
GSRセンサ用アモルファス磁性合金の研究



実験室3 : 磁気センサ研究開発
GSRセンサの設計・試作および性能評価

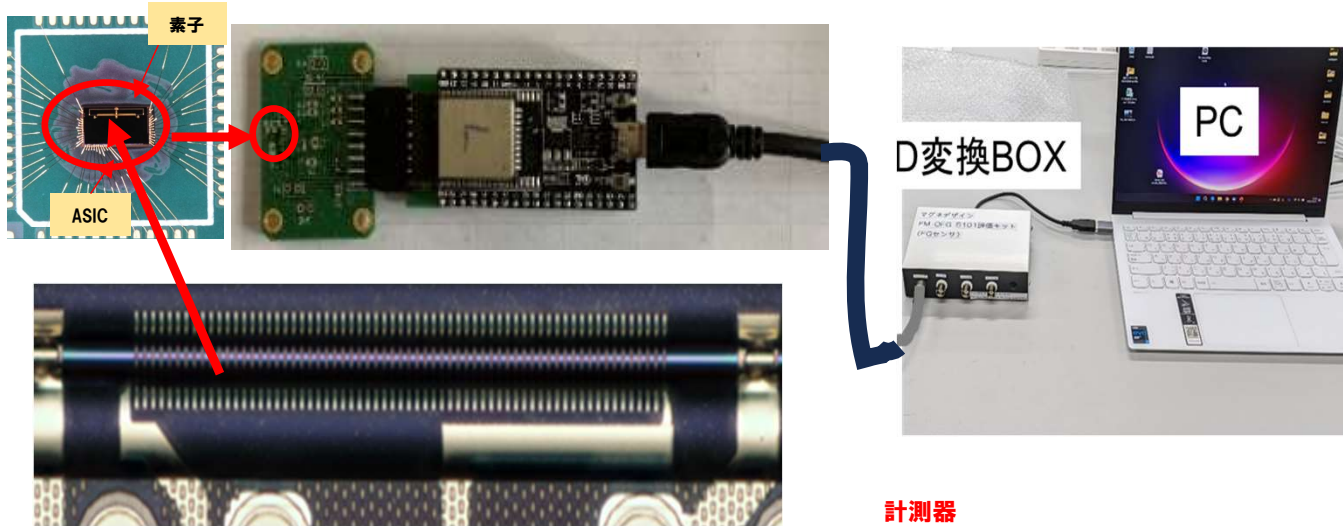


実験室4 : デンタル磁石開発
薄型磁性アタッチメントの研究



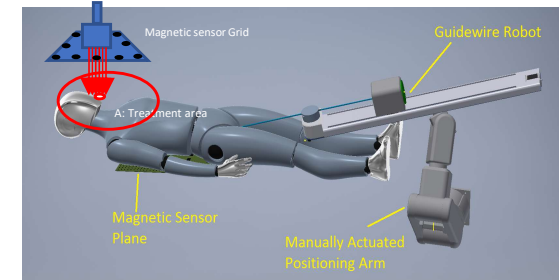
(4) マグネデザイン(株)の製品紹介

1) GSRセンサ 検出力: 1nT、小型2mm



GSRセンサの応用

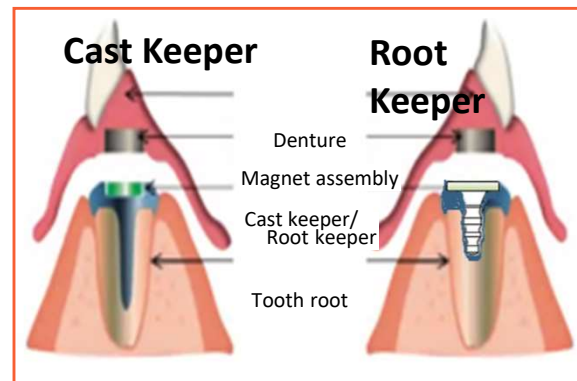
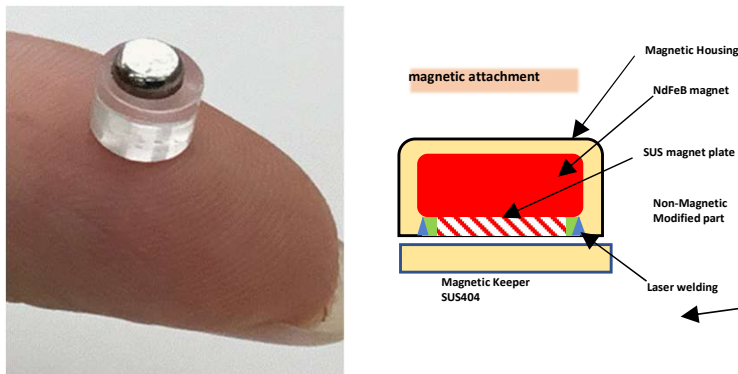
カテーテル手術ロボット



インプラント手術ロボット



2) デンタル磁石 MagTeeth 900



Partial denture	Overdenture
	
	5

次代を担うMagnetics技術開発

20世紀はElectronicsの時代、21世紀はMagneticsの時代

- 1章 マグネデザインの紹介
- 2章 Magnetics技術入門
- 3章 ビッグデータ時代と当社のGSR磁気センサ
- 4章 エネルギー革命と当社の新磁石
- 5章 提言 Magnetics未来産業創出戦略

2023年10月6日

本蔵義信

工学博士

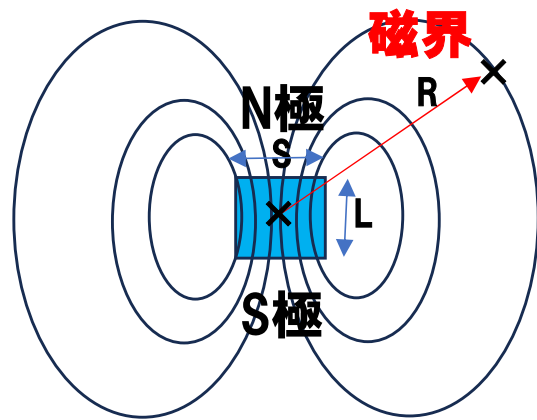
マグネデザイン(株)代表取締役社長

元日本磁気学会副会長

2章 Magnetics技術入門 (1)磁気発生源

1)永久磁石は、磁気発生源

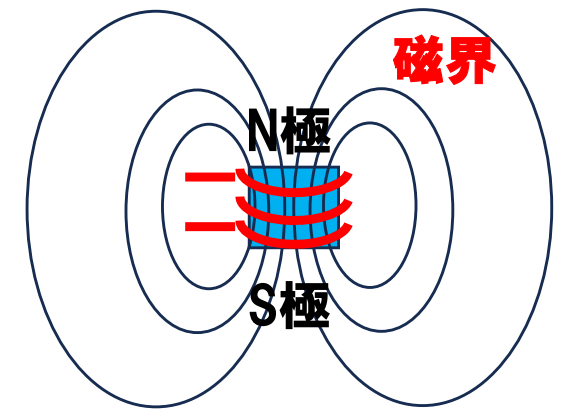
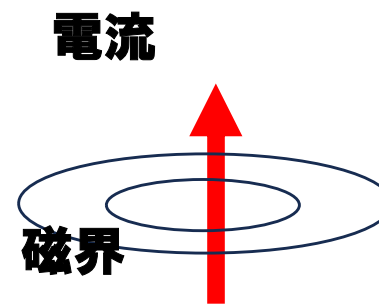
磁石N極とS極で引き合い同極で反発する
磁界空間に広がった**磁界は M/R^3 減衰**



磁石の強さ
 $M=BSL$
B:磁束密度
S:磁極の面積
L:磁極間の距離

2)電流は、磁気発生する

直線電流から、磁気が発生する
コイルに電流を流すと電磁石になる



3)応用

①古代のコンパス



磁石式 電子式



②磁石の応用

電気と一体となって電気製品・情報機器に利用

・発電機、モータ

⇒エアコンなど家電、電気自動車、ロボット、ドローンなど

・自動制御用のセンサ(速度、回転角度、スイッチなど)

・情報機器(磁気記憶HDD,量子コンピュータ)

・トランス(変圧器、昇圧器、電力計)



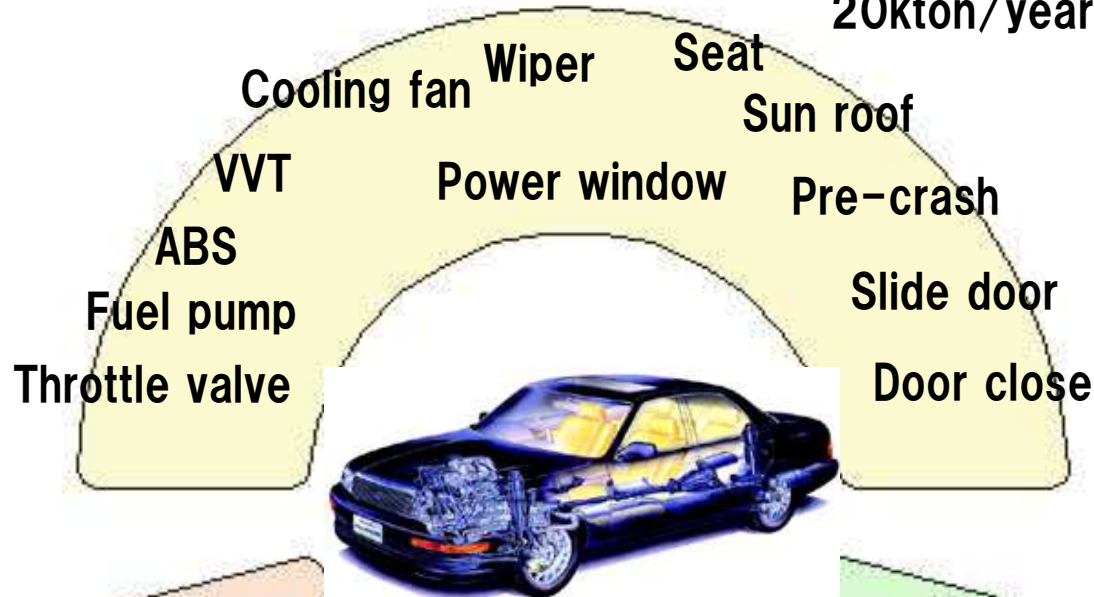
身近な存在だが、電気ほどはなじみがない

(2)自動車に搭載されているモータ

1台当たり平均60個使用されている

①小形モータ

(磁石使用量
20kton/year)



EV

HEV

③エンジン代替の動力モータ

(磁石使用量20kton/year)

Brake

Air-conditioner

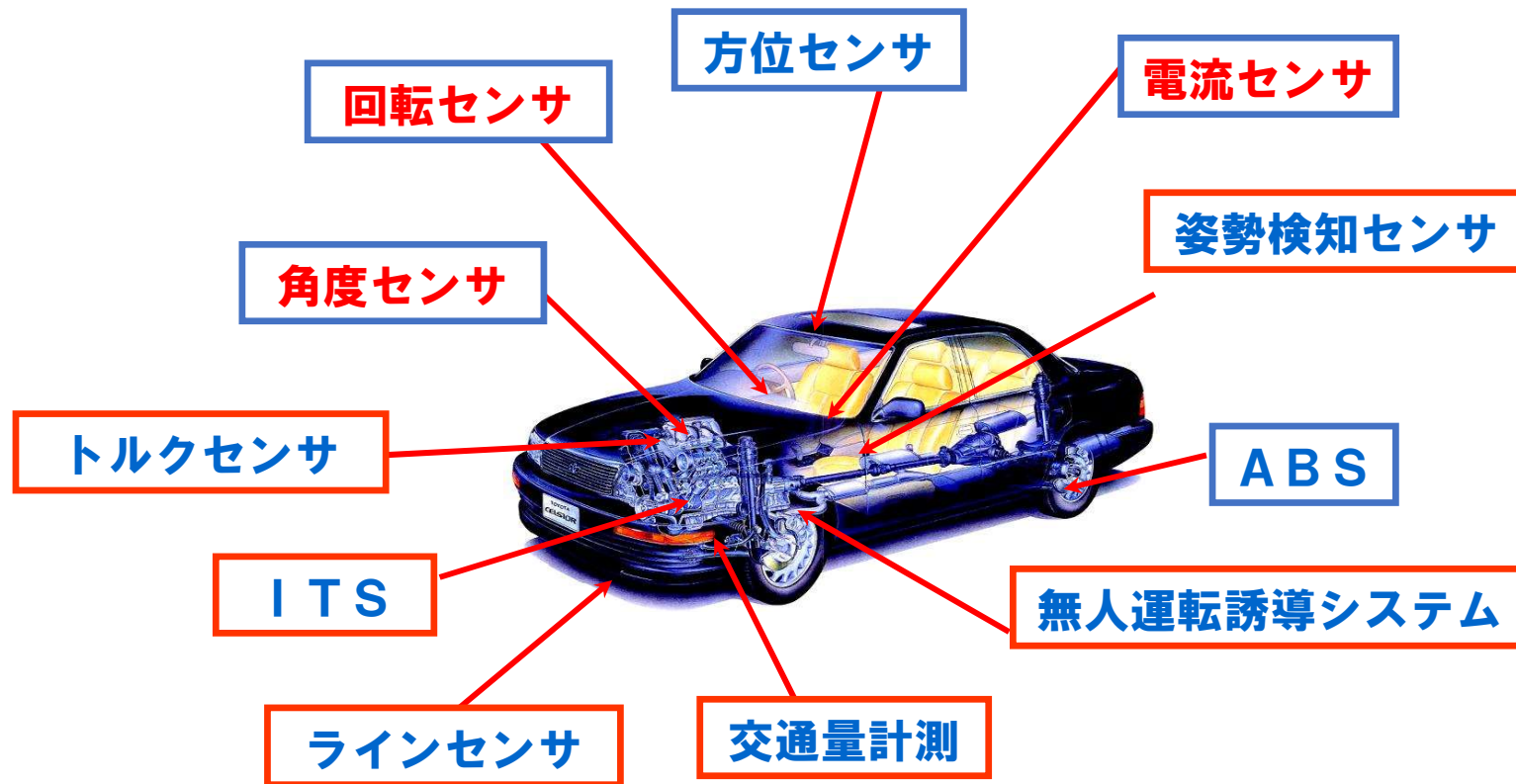
EPS

② 1Kw級のパワーモータ

(磁石使用量20kton/year)

(3)自動車に搭載されている磁気センサ

1台当たり40個使用されている



■ 既存システムの改良
■ 新規システムの開発

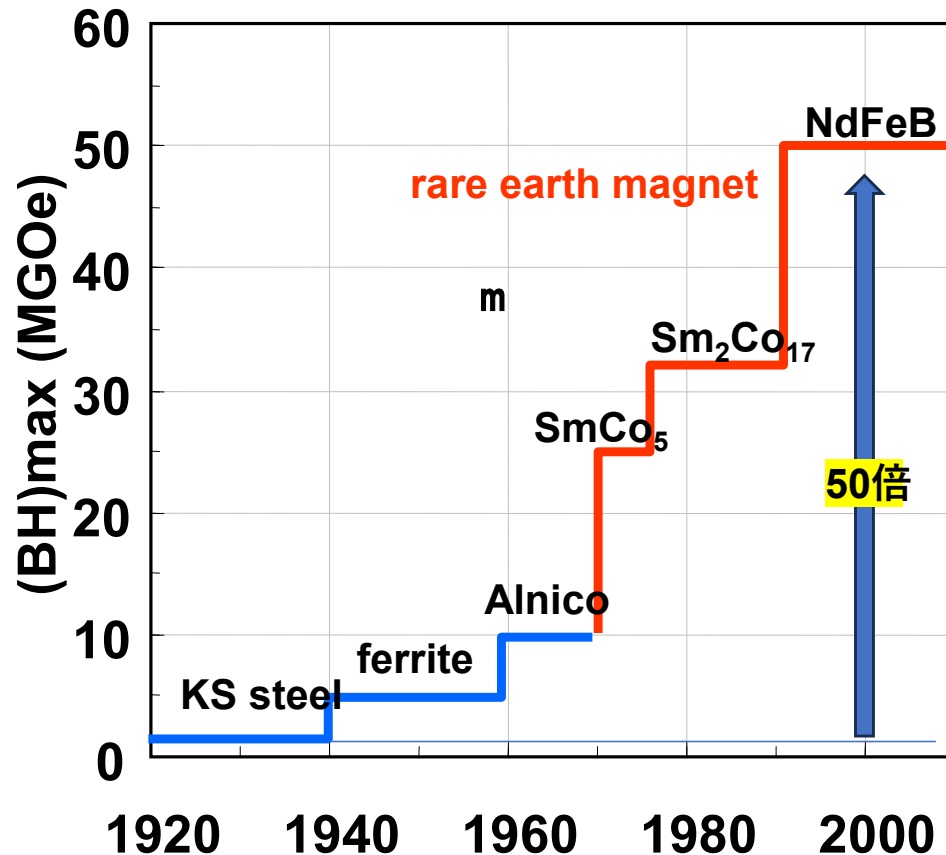
(4) Magnetics産業の発展の基礎は永久磁石の進歩

(1) 希土類磁石の発明で吸着力性能が50倍にアップ

(2) 磁石の保磁力性能(反発力)が100倍アップ
モータへの応用が実現

磁石同士の吸着力Fが50倍にアップ

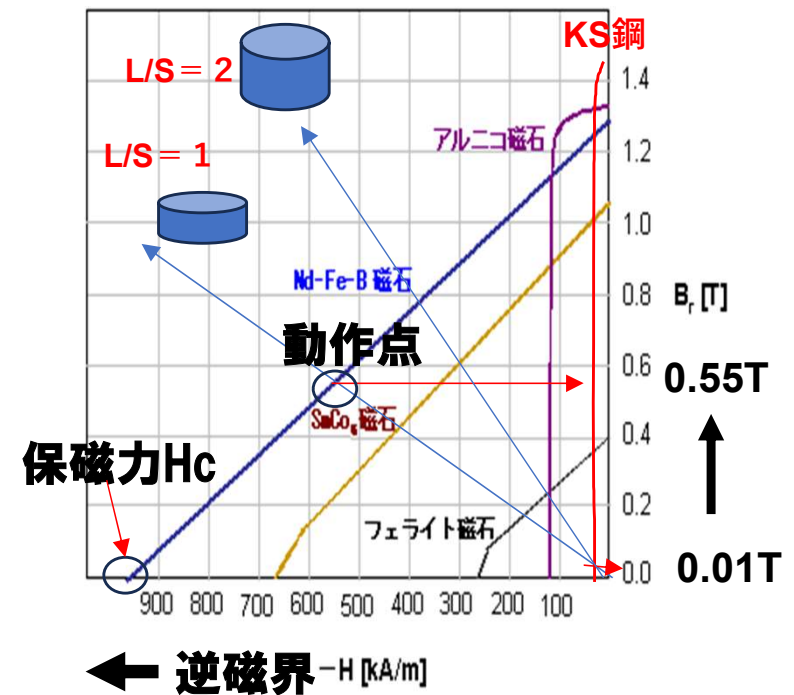
$$F \propto (BH)_{\max} \times S$$



永久磁石を使ったモータ・発電機が実用化



希土類磁石で
モータ効率が30%から90%にアップ
誘導モータからインバータモータへ

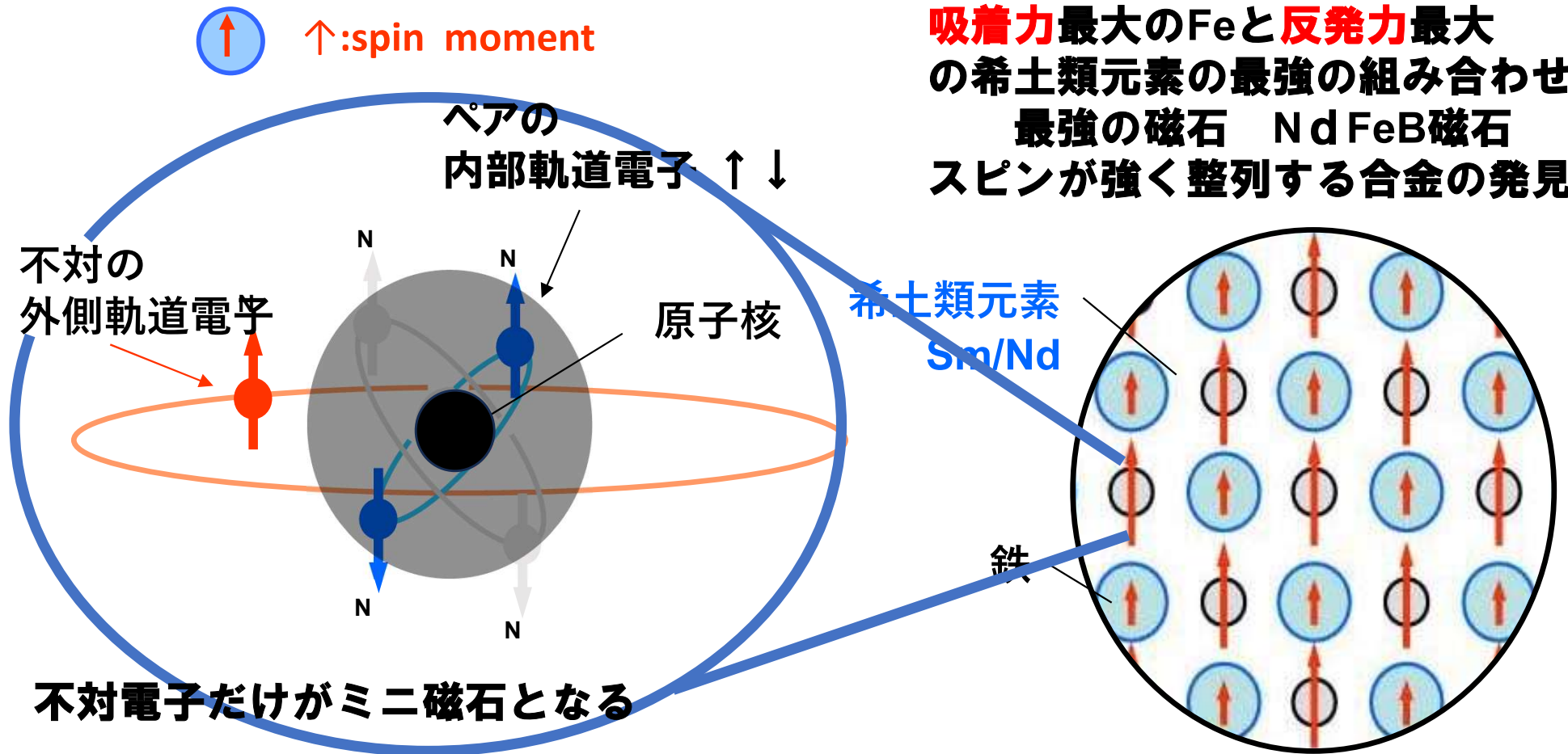


反発力のため逆磁界で使用
保磁力が大きくないと使用できない

(5)希土類磁石とは何か？

1) 電子はミニ磁石である。

2) スピンを整理すると強い磁石となる



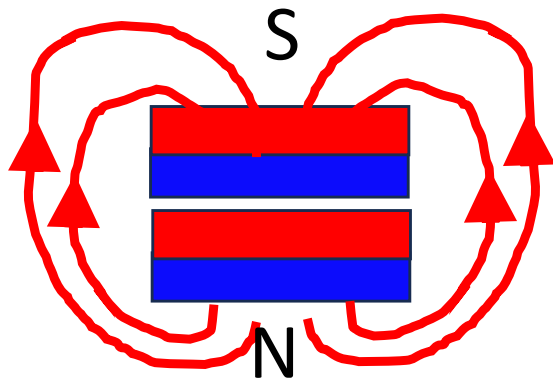
希土類磁石は、磁気の量子論によって誕生
(スピントロニクス)

(6)希土類磁石の活用 “マジック”技術

1)マジック1:磁石の吸着力を6倍にアップ

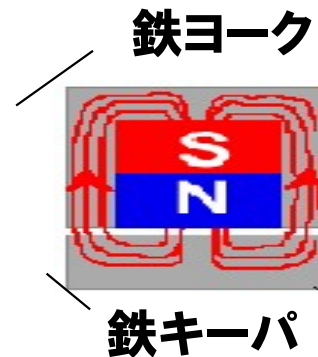
Open磁気回路(磁石と磁石)

100gf



Closed磁気回路

600 gf



秘密の方策

- ・磁力の漏れをなくす
- ・吸着面を絞り磁力Bを増幅

$$\Phi = BS$$
$$F \propto B^2S$$

*世界初 磁性アタッチメントを開発
1995年特許庁長官賞を受賞

2)マジック2:小型モータを1/4に軽量・小型

反発力制御で

2極タイプの磁気回路

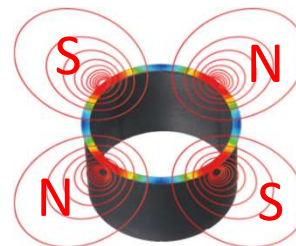
465 g



フェライト磁石

4極タイプの磁気回路

140 g



マグファイン磁石

秘密の方策

- ・磁石極数:2極→4極
(並列磁気回路)
- ・回転数:2倍

*2005年トヨタ技術開発賞を受賞

(7)磁気回路技術とは？ コンピュータ解析で最適化

1)磁気回路と電気回路は類似のオームの法則が存在 $I=V/R$

電気回路のオームの法則 $I=V/R$	磁気回路のオームの法則 $\Phi = V_m/R_m$
<p>電線(銅) 電流 I 電池 電圧 V 電気抵抗 R 作動部の効率 $Q=I^2R_e$ 有効 V_e $V_e = I_e R_e$ $R = L / \sigma S$ 電流密度 $i = I/S$</p>	<p>ヨーク(鉄) 磁束 Φ 磁石or電磁石 起磁力 V_m 磁気抵抗 R_m 作動部の効率 $F = Be^2S$ 有効 V_{me} $V_{me} = \Phi eL = BeSL$ $R_m = L / \mu S$ 磁束密度 $B = \Phi / S$</p>

2)磁気回路の要素技術である磁石と磁性材料の進歩

- ・磁石：希土類磁石の発明 磁力エネルギー V_m が 50倍
- ・磁性材料(ヨーク): パーマロイ合金、アモルファス合金の発明 透磁率 μ が60倍

3)デジタル技術:コンピュータ解析技術による磁気回路の最適化 ⇒マジックが実現 10倍の改善

次代を担うMagnetics技術開発

20世紀はElectronicsの時代、21世紀はMagneticsの時代

- 1章 マグネデザインの紹介
- 2章 Magnetics技術入門
- 3章 ビッグデータ時代と当社のGSR磁気センサ
- 4章 エネルギー革命と当社の新磁石
- 5章 提言 Magnetics未来産業創出戦略

2023年10月6日

本蔵義信

工学博士

マグネデザイン(株)代表取締役社長

元日本磁気学会副会長

3章 (1) 情報化時代の磁気センサセンサの役割

AI時代到来
1兆個/年
40兆円市場

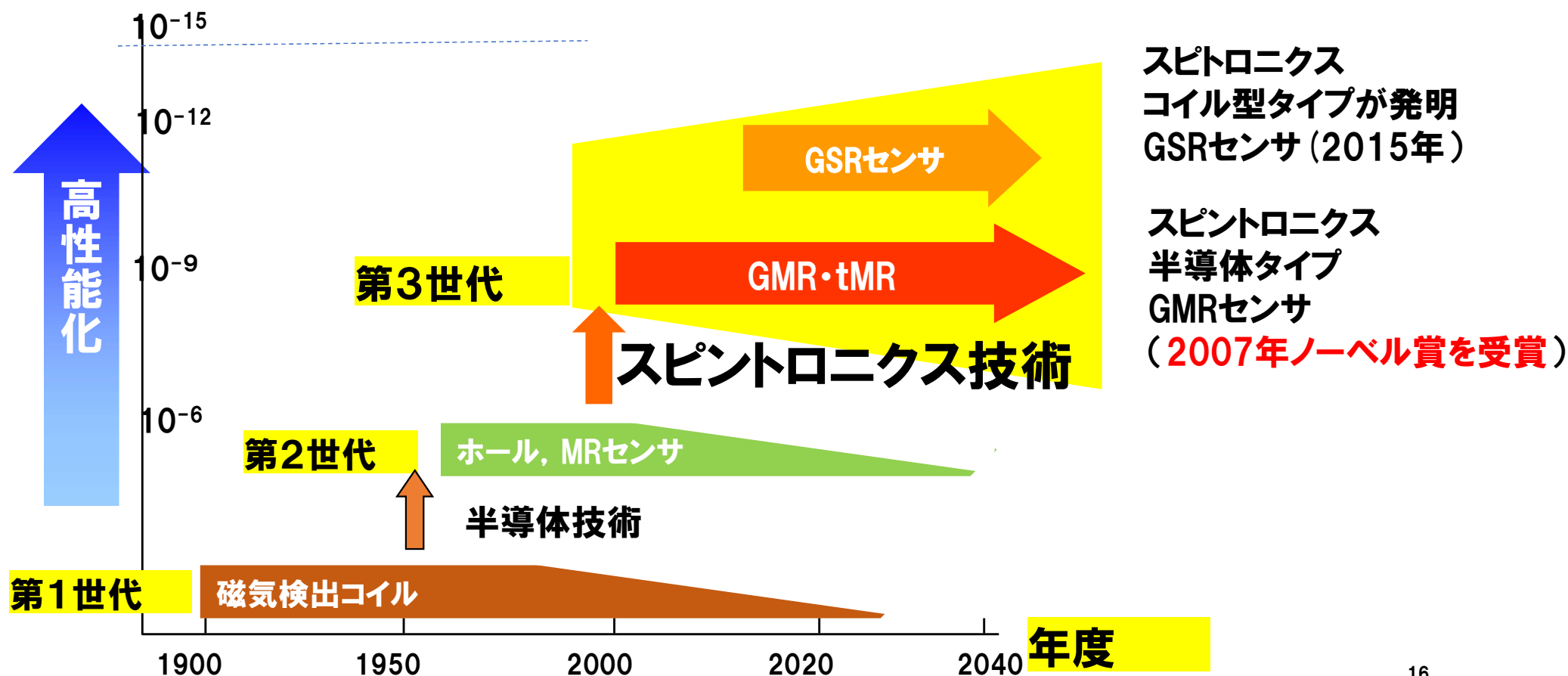
・磁気センサは、センサ市場全体 30%



(2)磁気センサの進化 スピントロニクス技術

磁気センサの技術進化 スピントロニクスを基礎にした**第3世代センサ**

→大幅に高感度化・小型化



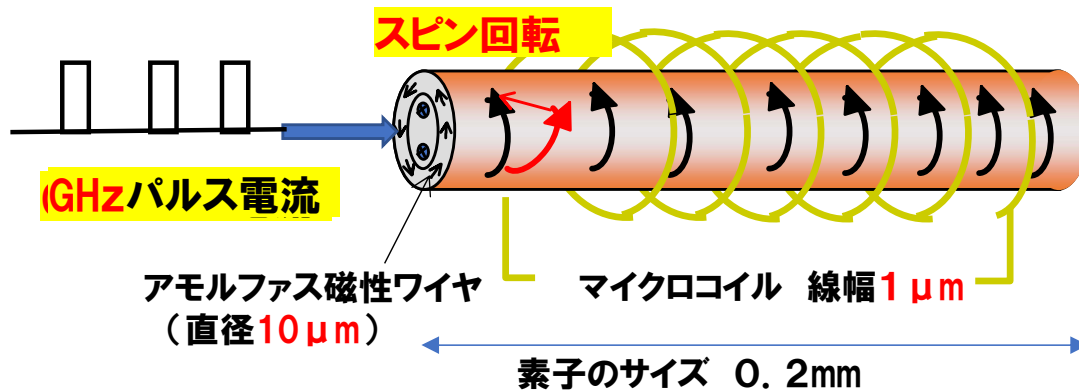
(3) 当社のGSRセンサ

2015年新あいち創造研究開発補助事業

【2015年GSR原理の発見】

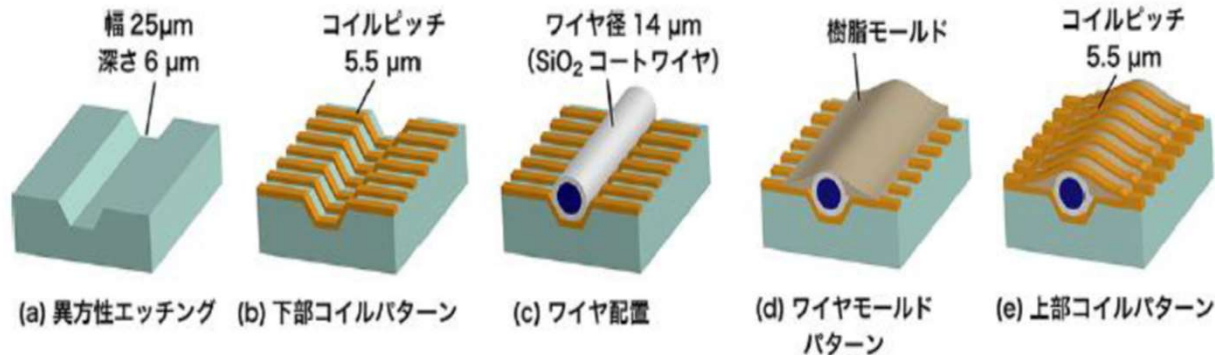
GHz-Spin-Rotation

GHz時間で**スピン**回転を検出するコイル型の新原理センサ
地磁気の百万分の一の微小磁界を測定を可能にする

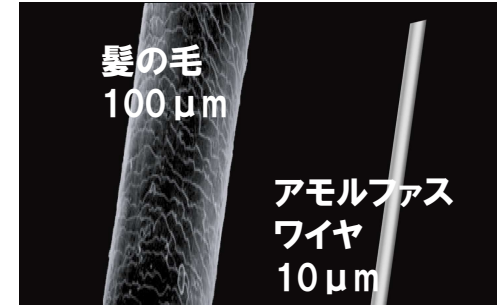


【GSRセンサ製作 3大技術要素】

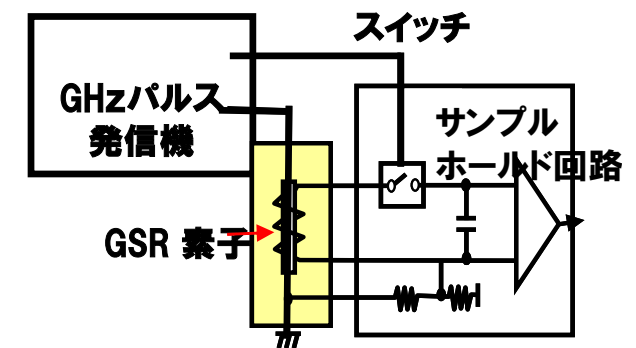
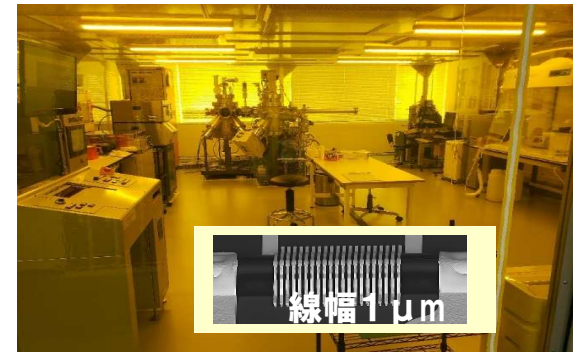
- ①アモルファスワイヤ製造法
- ②マイクロコイルの製造法
- ③GHzパルス回路技術



①アモルファスワイヤの大きさ



②3次元半導体プロセス: マイクロコイルの製造

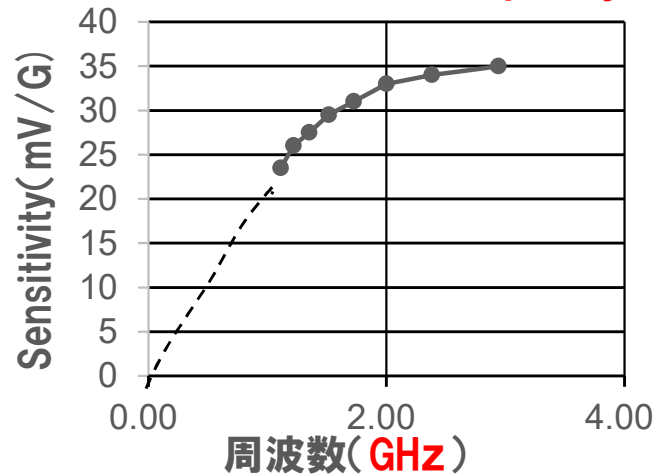


③ GHz回路GSR用ASIC

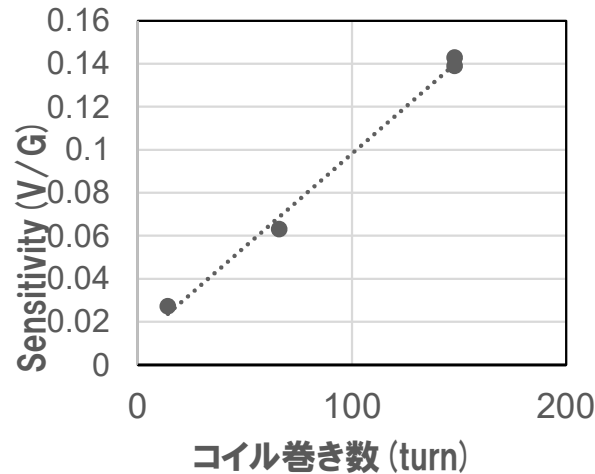
(4)スピントロニクス型の磁気センサの特質

高感度：GHzに比例、コイル巻き数に比例
良質な信号：正弦関数、良好な直線性、低ノイズ、ヒステリシス無し。

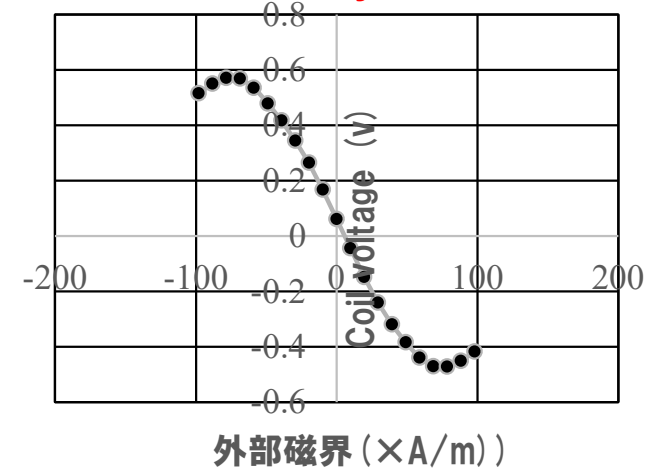
Effect of GHz frequency



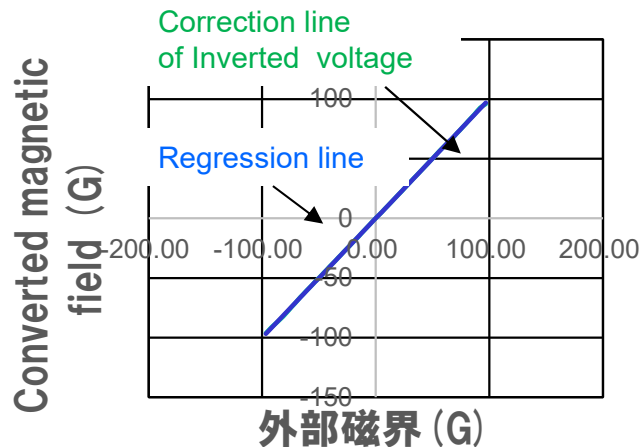
Effect of coil turn numbers



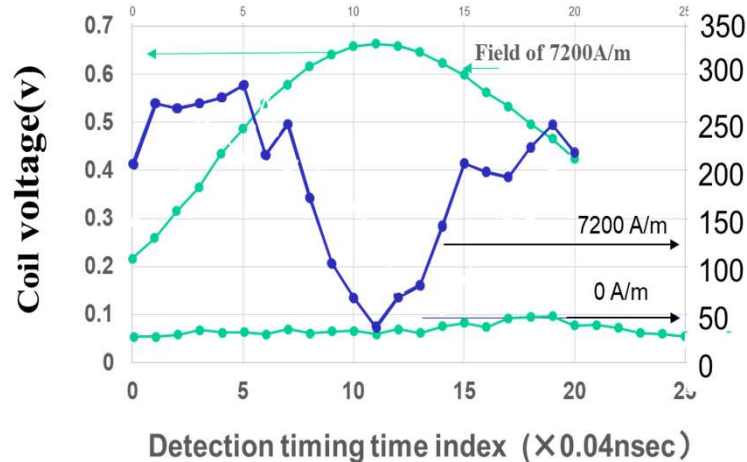
Sine functionality



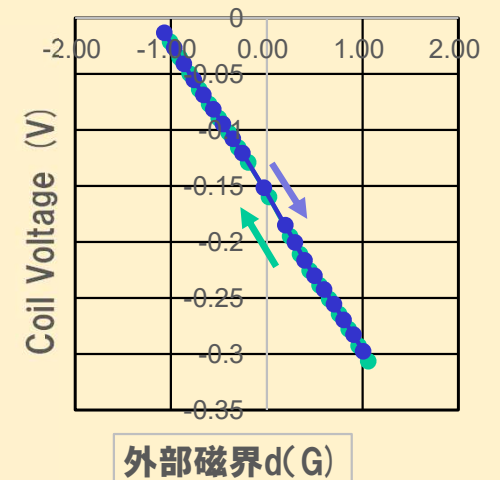
Good linearity



Low noise at peak detection timing



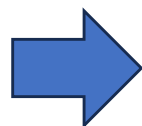
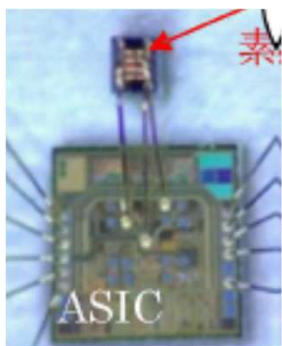
Nearly no hysteresis



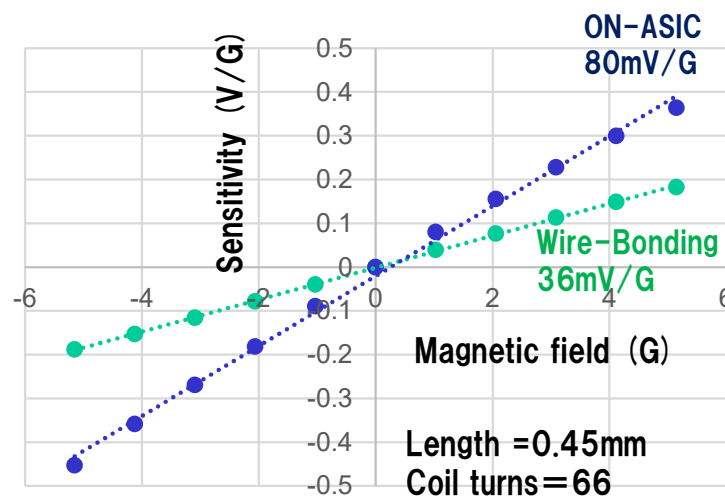
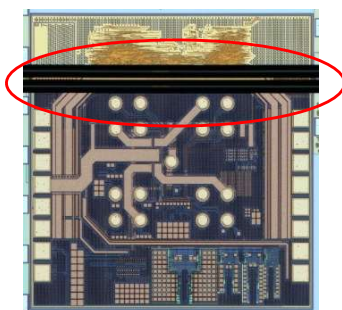
(5) on-ASICタイプGSRセンサ

1) on-ASICタイプのGSRセンサを開発

ワイヤBonding接合
GSRセンサ



On-ASICタイプ
GSRセンサ



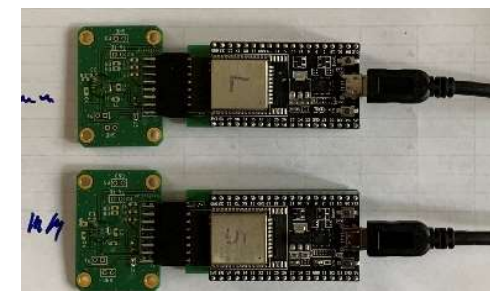
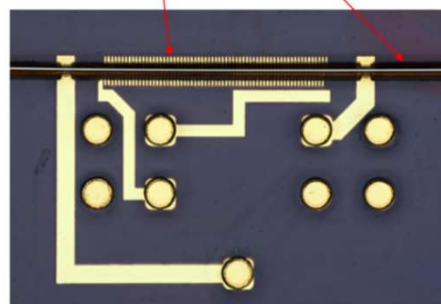
ON-ASICタイプの接合は感度が2倍になる

2) on-ASICタイプのGSRサンプルを販売

JAXAに販売

	Sensor Size L×W(mm)	Sensitivity mV/G	σNoise mG@1KHz
GSRsensor N=66	1.2×1.2	110mV/G	0.5mG 50nT
M1sensor N=16	2.0×2.0	10mV/G	7mG

ASIC size: 1.2 × 1.2 × 0.2mm
Element: L=0.45mm

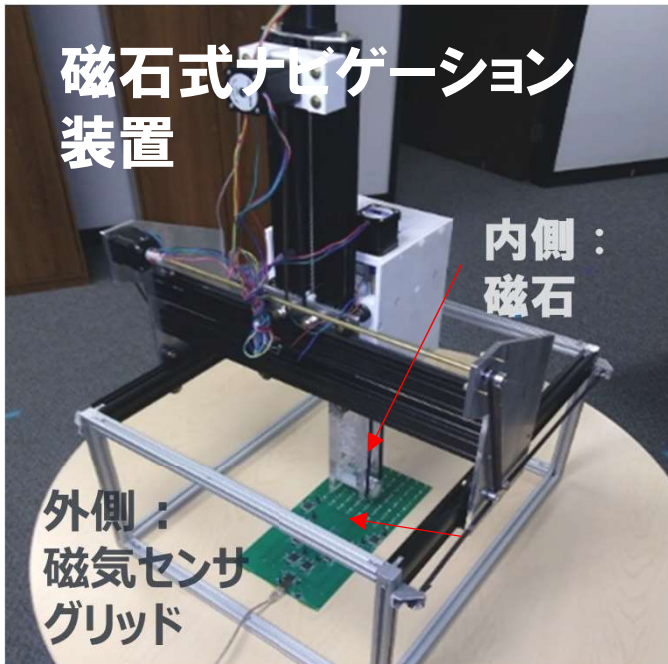
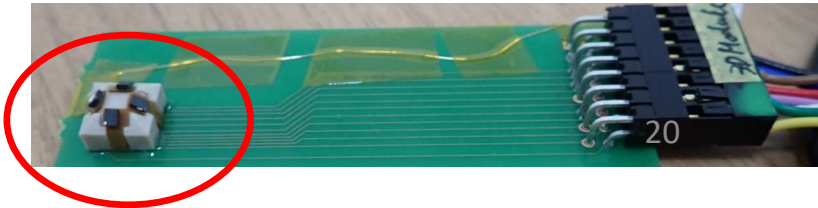


(6)手術ロボットのナビゲーション技術の開発

シリコンバレーのCloudnav社と共同開発中

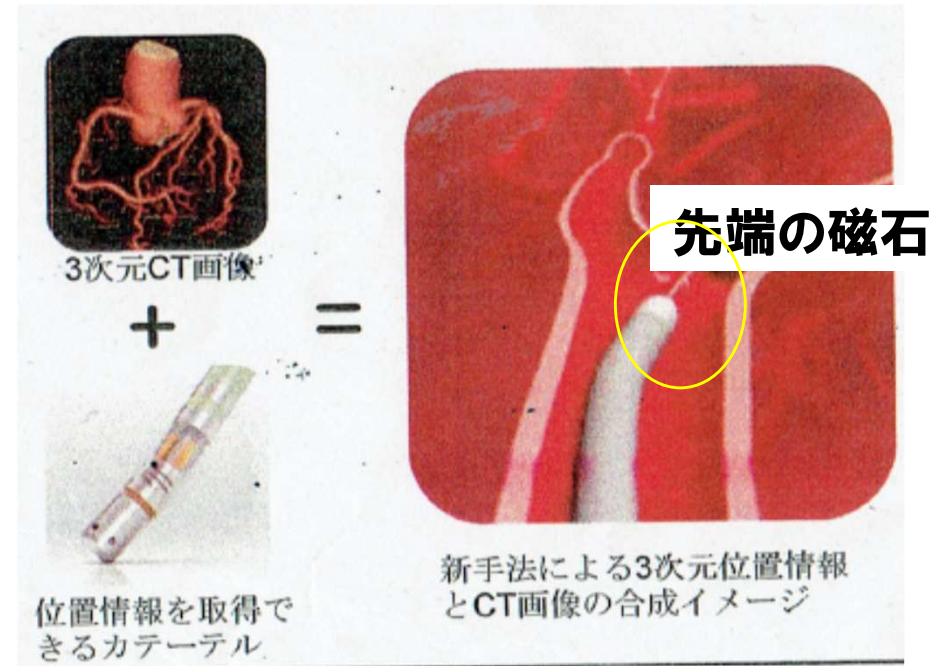
先行メーカーの**カテーテル治療ロボット**より
位置精度を10倍、リアルタイム性を改善

3次元GSRセンサ

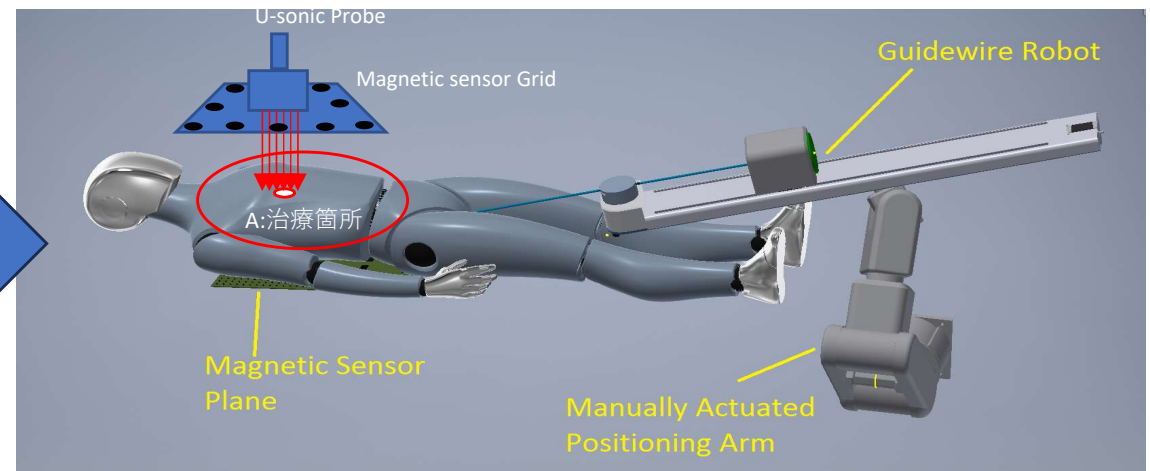


位置決め精度0.1 mm

20



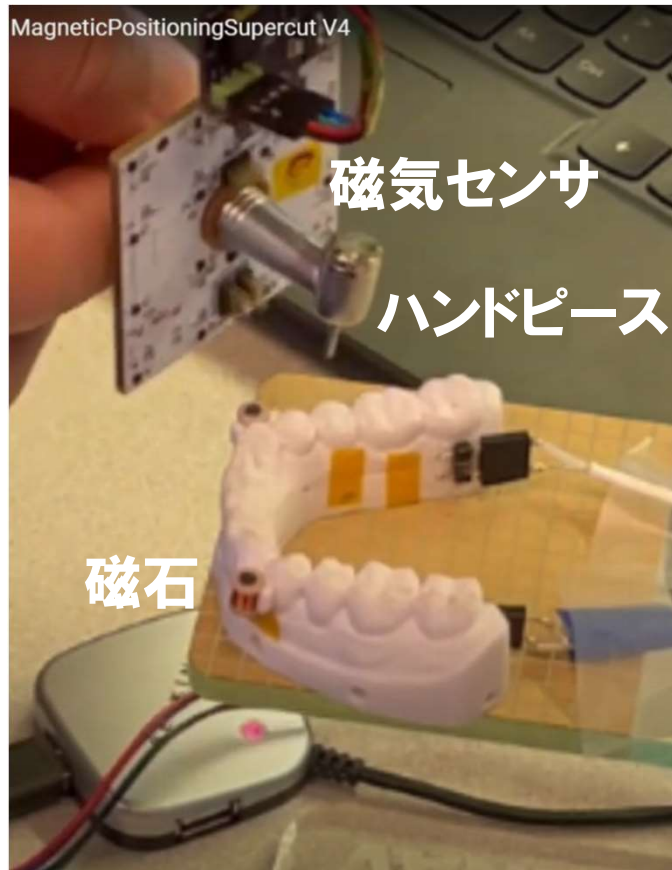
カテーテル治療ロボットのイメージ



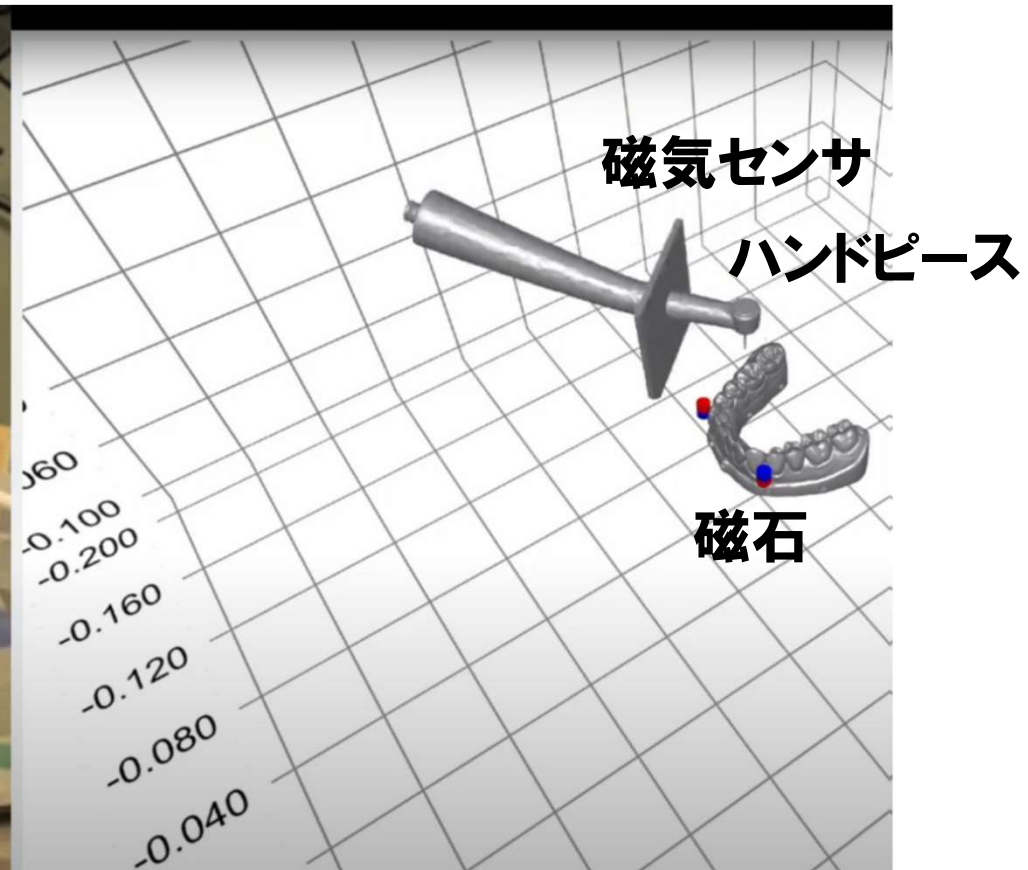
(7)インプラント治療ロボット 開発状況

スマートハンドピースの試作

試作品

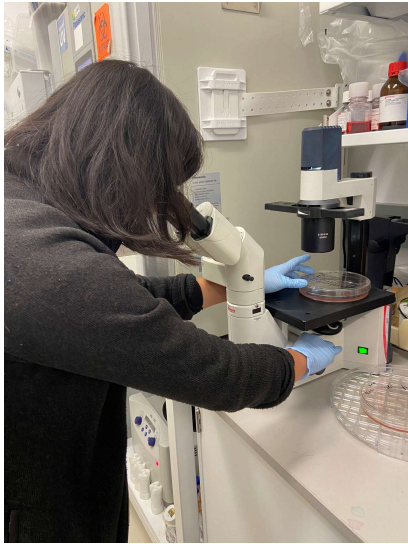


PC画像表示



(8) IPS細胞観察用磁気顕微鏡の開発

スタンフォード大学医学部と共同研究 準備中



IPS 細胞の成長を観察

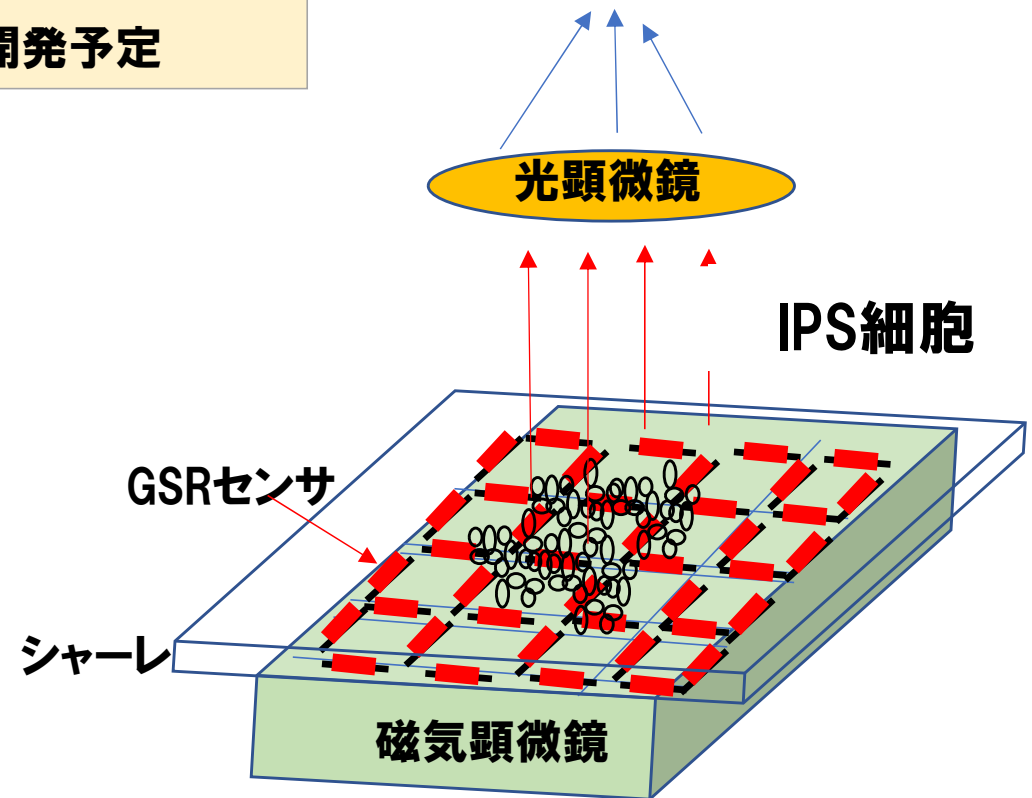
- ・顕微鏡で形態・運動
- ・磁気顕微鏡で細胞内の活力



磁気顕微鏡を共同開発予定



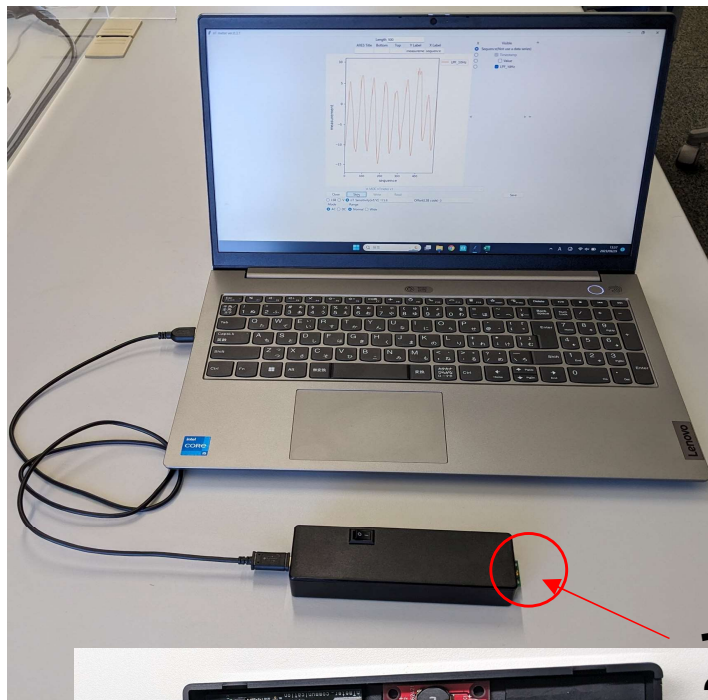
IPS 細胞の観察



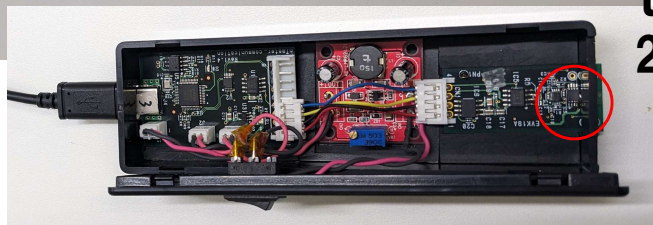
(10) 小型GSR素子を採用したnTメータの開発

【仕様(特徴)】

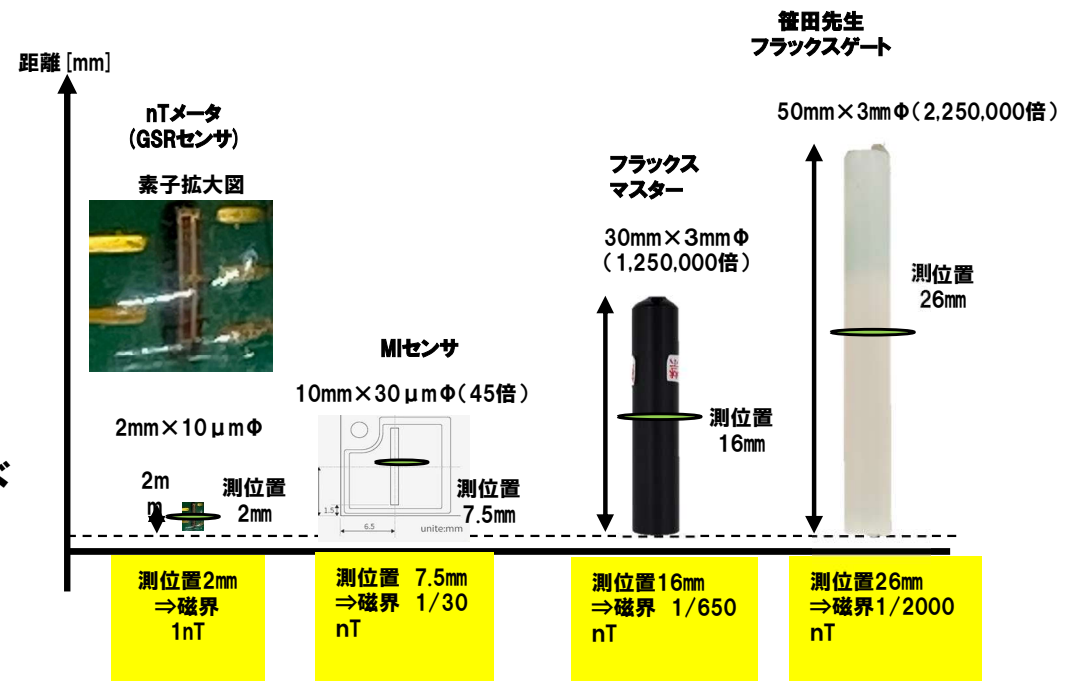
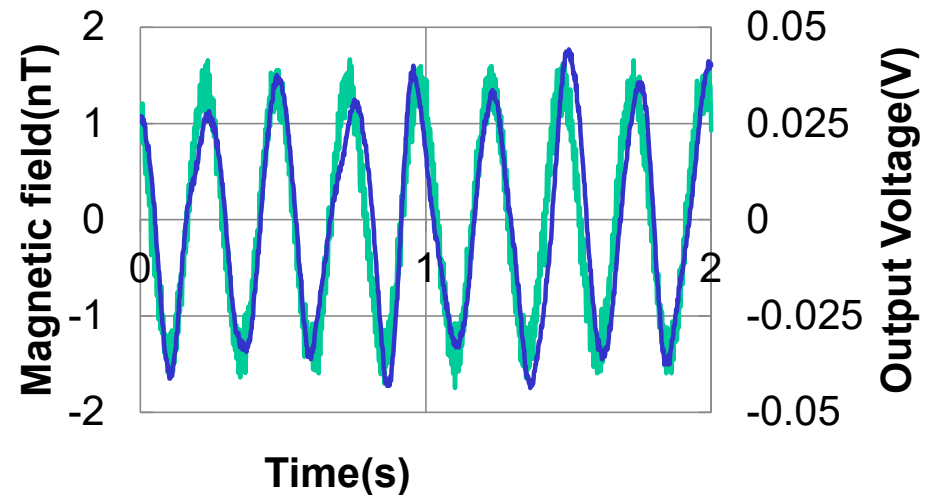
- 検出力 **1nT**@0.1~10Hz
- 素子長さ**2mm**で、ミニ空間の微小磁界
- 近接測定が可能
- 計測器とPCのみの構成
- ハンディタイプで使いやすい
- PC表示、**USB電源**:4V×0.45W



センサヘッド
2mm



- 外部磁界 1nT 地磁気の百万分の1
- センサ信号



(11)GSRセンサによる新市場の創出

応用分野 1) 高速タイプGSRセンサ
自動車、ロボットなど機械制御用
高速測定-10mG@1MHz 一測定レンジ:80G

**無人機械の運転状況をフォロー
人間より100倍正確で100倍速い測定**

40 sensors used in one car

- Angle sensor,
- speed sensor,
- Current sensor



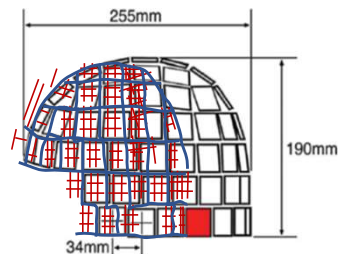
応用分野 2) 3次元タイプGSRセンサ
スマホ、ドローン、デジタルモバイル機器などVR対応
地磁気測定 1mG@1KHz

**方位角度を1度の正確さで0.02秒で測定
ドローン、ゴーグルなど ロボットの姿勢制御**



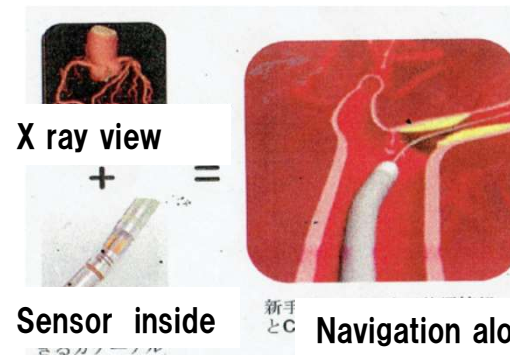
応用分野 3) 超高感度 3次元タイプGSRセンサ
生体磁気検出
-1pT@10Hz

**1 pTの超微小磁界を測定、地磁気の1億分の1
小型MRIで医療機器の革命**



応用分野 4) 高感度 3次元タイプGSRセンサ
生体内ナビゲーション
-1nT@1KHz (1nT=0.01mG)

**生体内部のカテーテル位置を0.1mmの精度で測定
手術用ロボット**



次代を担うMagnetics技術開発

20世紀はElectronicsの時代、21世紀はMagneticsの時代

- 1章 マグネデザインの紹介
- 2章 Magnetics技術入門
- 3章 ビッグデータ時代と当社のGSR磁気センサ
- 4章 エネルギー革命と当社の新磁石
- 5章 提言 Magnetics未来産業創出戦略

2023年10月6日

本蔵義信

工学博士

マグネデザイン(株)代表取締役社長

元日本磁気学会副会長

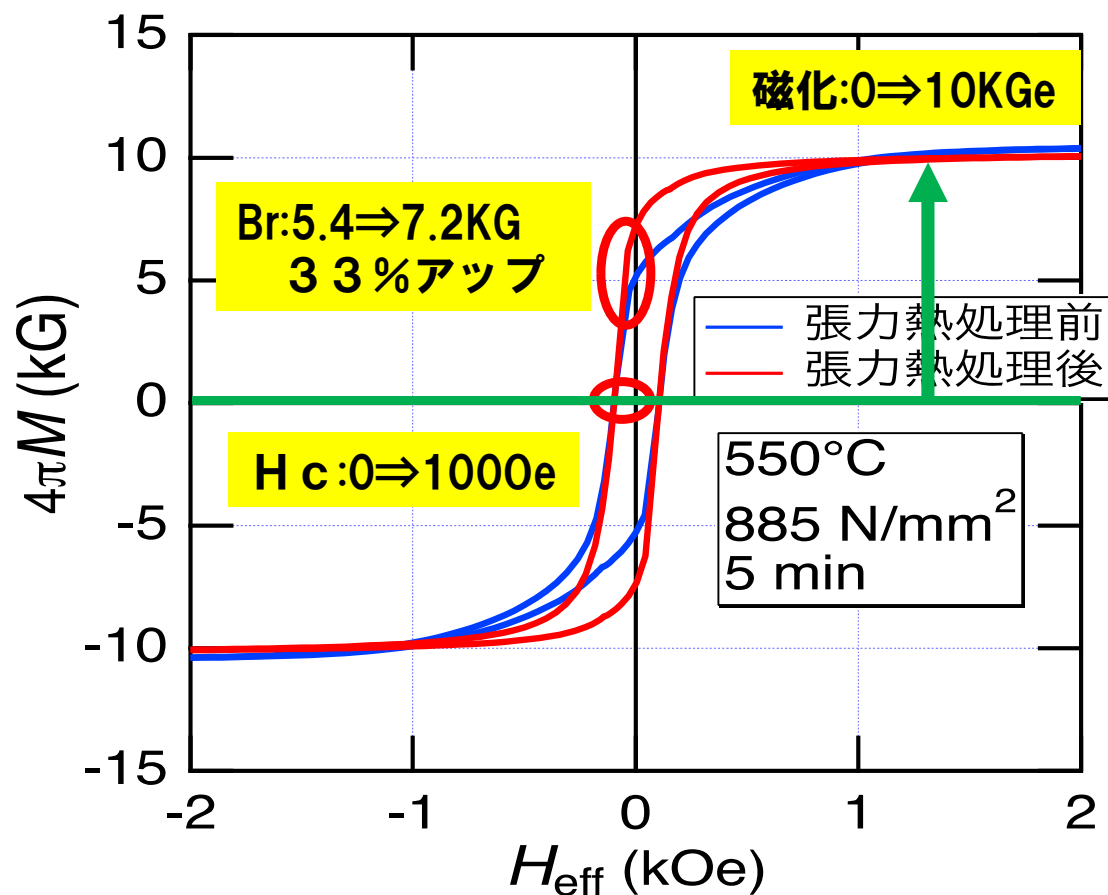
4章 (1) ステンレス磁石の発明

特殊加工によるステンレス磁石の製作

母材：Cr-Ni系ステンレス鋼（非磁性）

⇒ 冷間加工80%+ 張力熱処理550°C 10kg/mm²

⇒ 着磁（磁石化）



ステンレス磁石で鉄を持ち上げている様子

(2)非磁性複合ステンレス磁石の発明

特許取得済み

母合金は非磁性のCr-Ni系ステンレス鋼

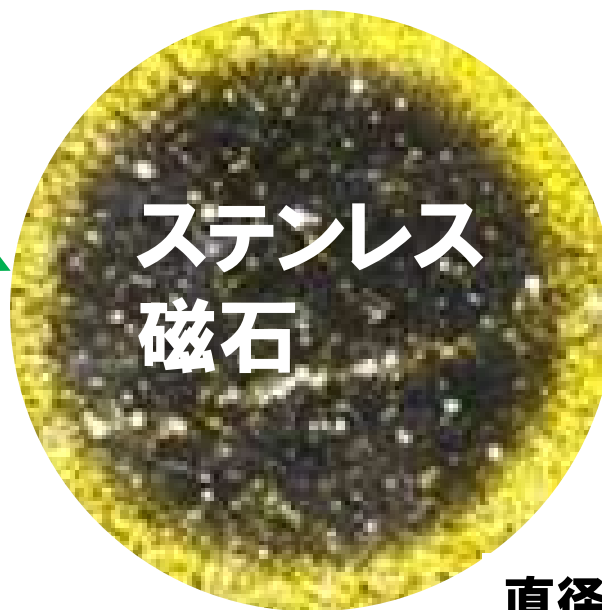
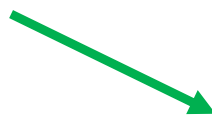


特殊加工でステンレス磁石化



一部を**再加熱して、非磁性に回復**させる

非磁性



直径3mmΦ

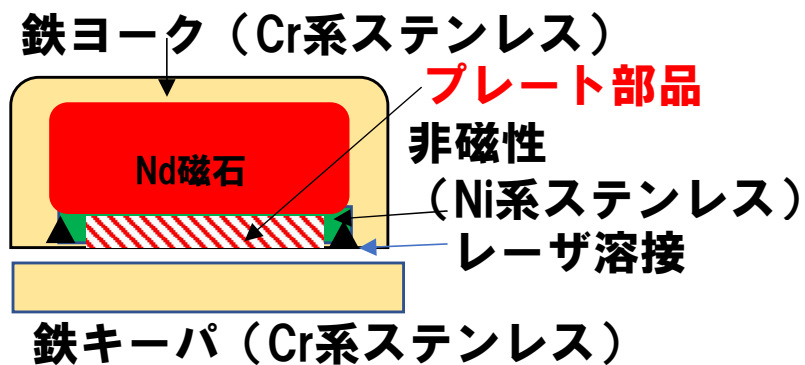
(3) 歯科用磁性アタッチメントと磁石式義歯

製品



直径4.0mm・高さ1.3mm
吸着力900g

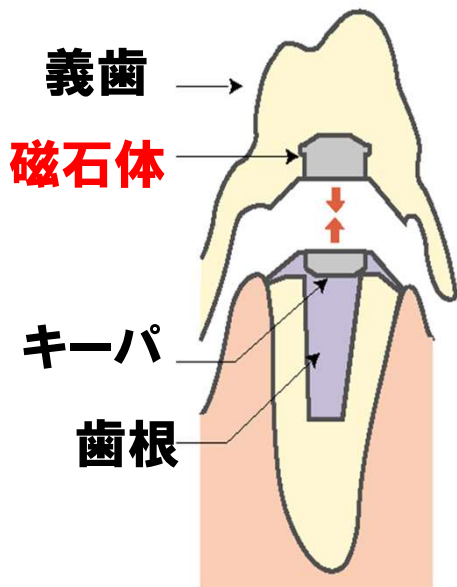
磁石体の構造



仕様

- ・小形サイズ
- ・強い吸着力
- ・錆びない
- ・磁気が漏れない

磁石による義歯の固定法



部分床義歯

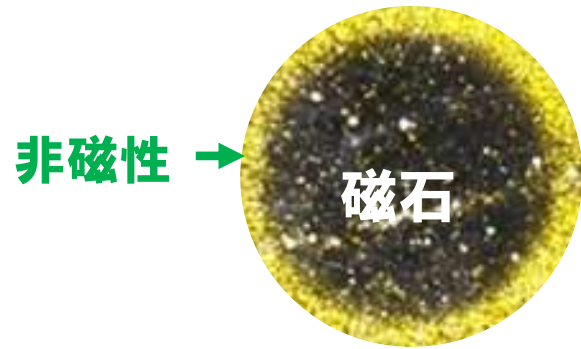


総義歯

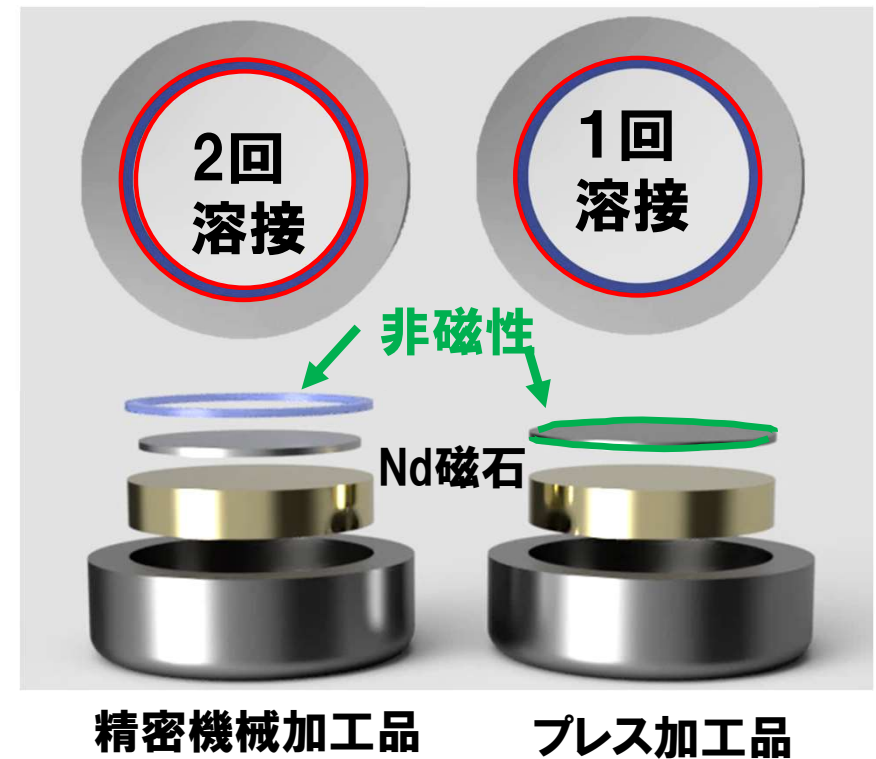
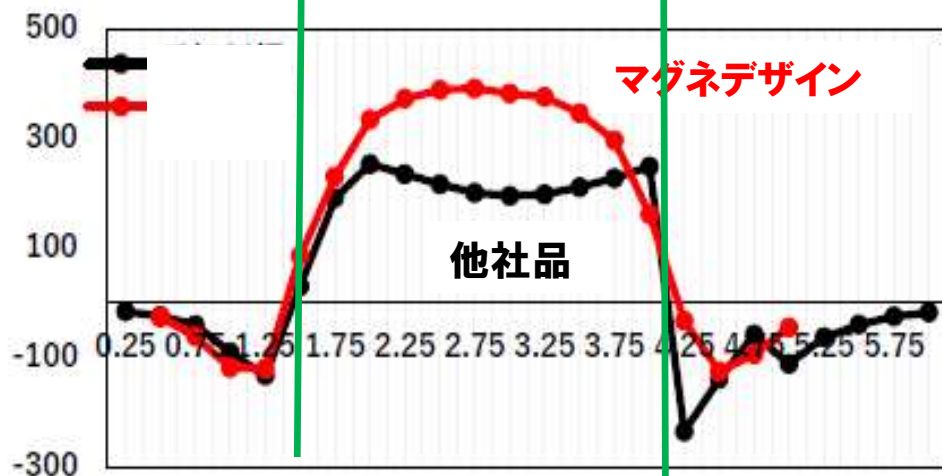
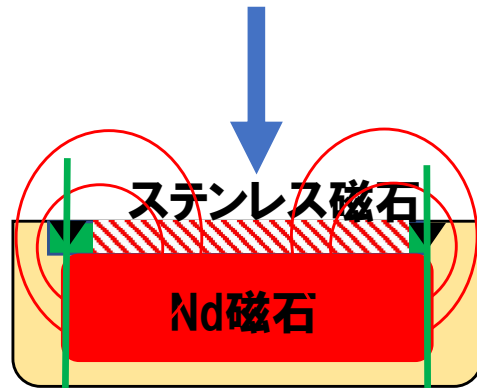


(4) ステンレス磁石の磁性アタッチメントの応用

特許取得済み



プレート部品にステンレス磁石を採用吸着力が600gから900gに**50%アップ**
組立工程が簡素化 コスト**1/5**

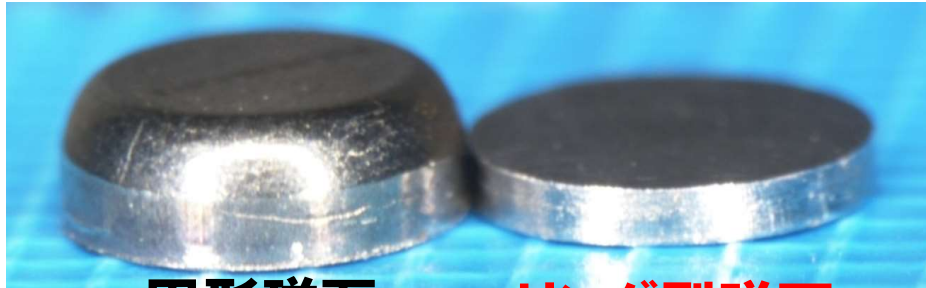


(5)薄型ATの開発 2023年新あいち創造研究開発補助事業

製品

1.3mm

0.6mm



円形磁石

リング型磁石

ステンレス磁石活用した
リング磁石タイプの新デザイン

構造

円形磁石AT → リング磁石AT

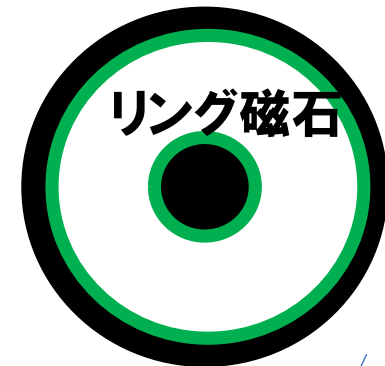


円形磁石



円形磁石

厚さ1.3mm直径 4mm



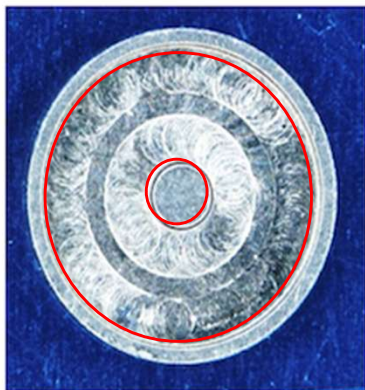
リング磁石



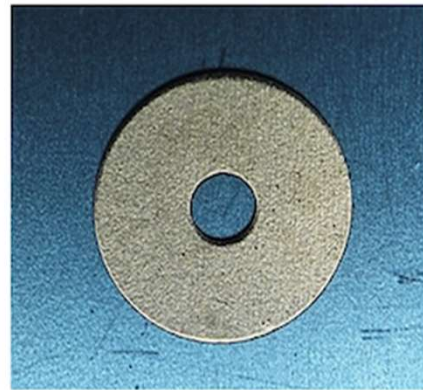
リング磁石

厚さ0.6mm 直径4mm

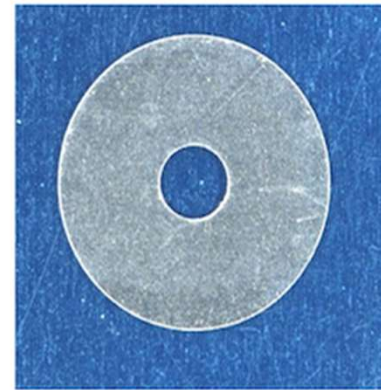
薄型リング磁石の構成部品



キャップ

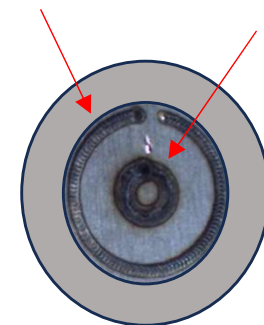


リング磁石



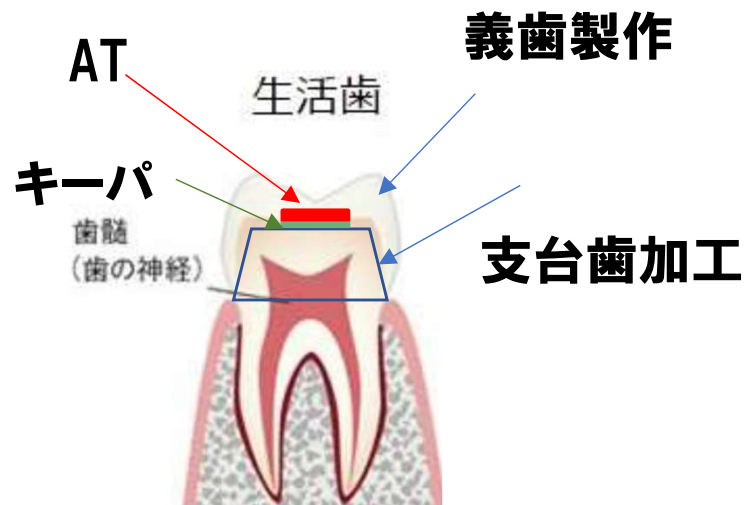
リングプレート
(ステンレス磁石)

レーザ非磁性改質
外側溶接 内側溶接



(6) 薄型磁性アタッチメントの応用

有髄歯(健全歯)への適用



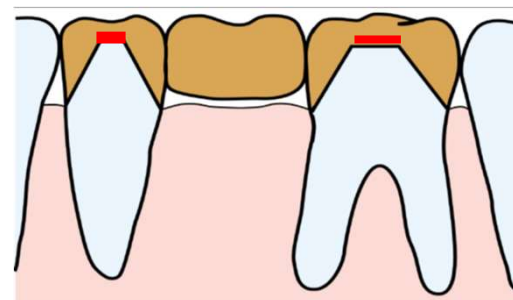
背景

・8020運動 健全歯が20本以上
→可撤性ブリッジが主流



薄型磁性アタッチメントの開発

可撤性ブリッジ



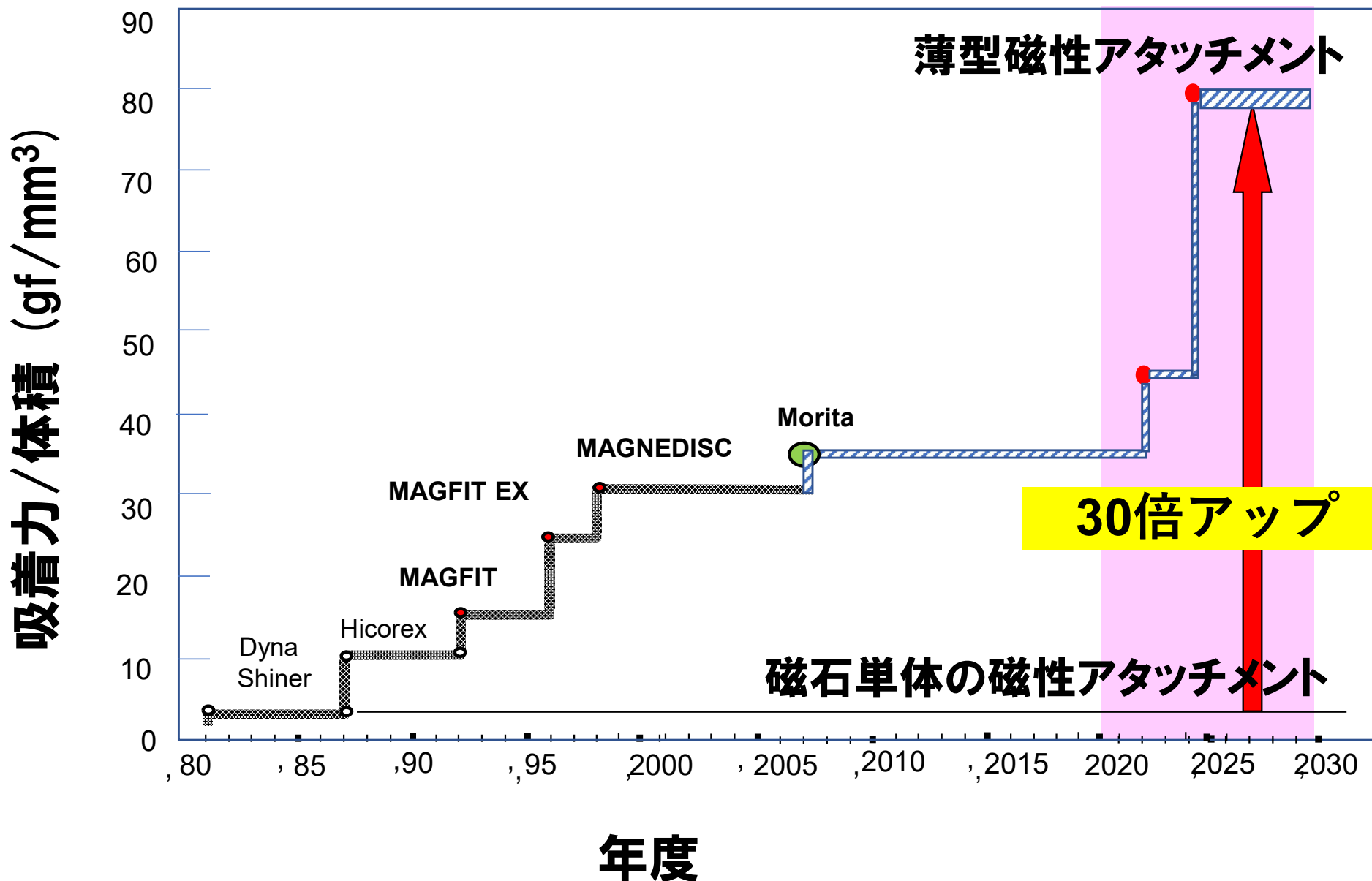
リングプレート
(ステンレス磁石)

健全歯活用した可撤性ブリッジの模型



(7) 磁性アタッチメントの設計力の進化 吸着力/体積

磁気回路のマジックで 吸着力が30倍アップ



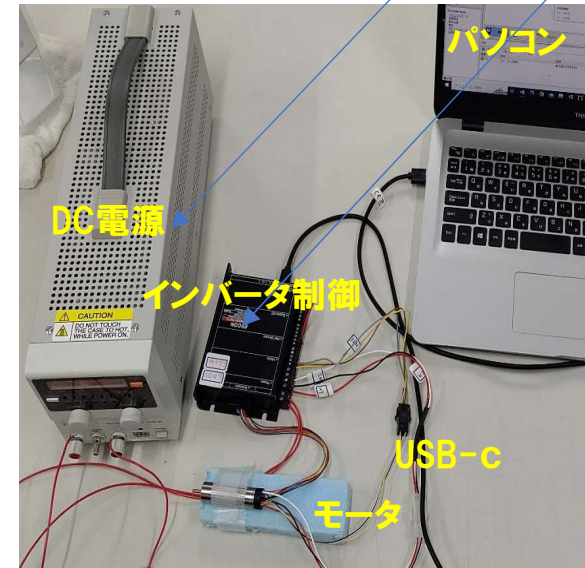
(8)非磁性複合ステンレス磁石のSPMモータへの応用

開発目的 ロボット用小型モータの50%小型軽量化 特許出願中
NEDO補助事業申請

Maxson社
19mmΦ × 58mm
100g



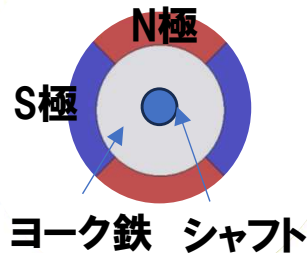
開発品
18mmΦ × 30mm
50g



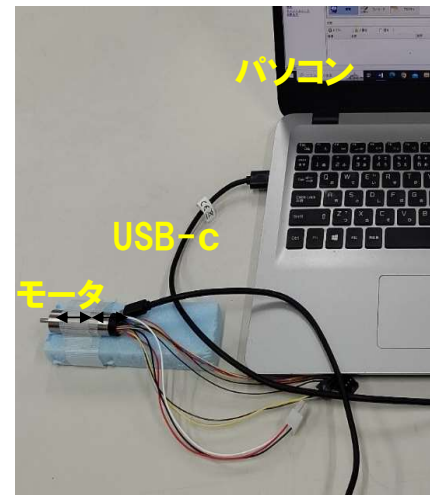
Nd焼結磁石
2極



Ndボンド磁石
4極



回転数 6万回転 → 20万回転
価格 3万円 3000円



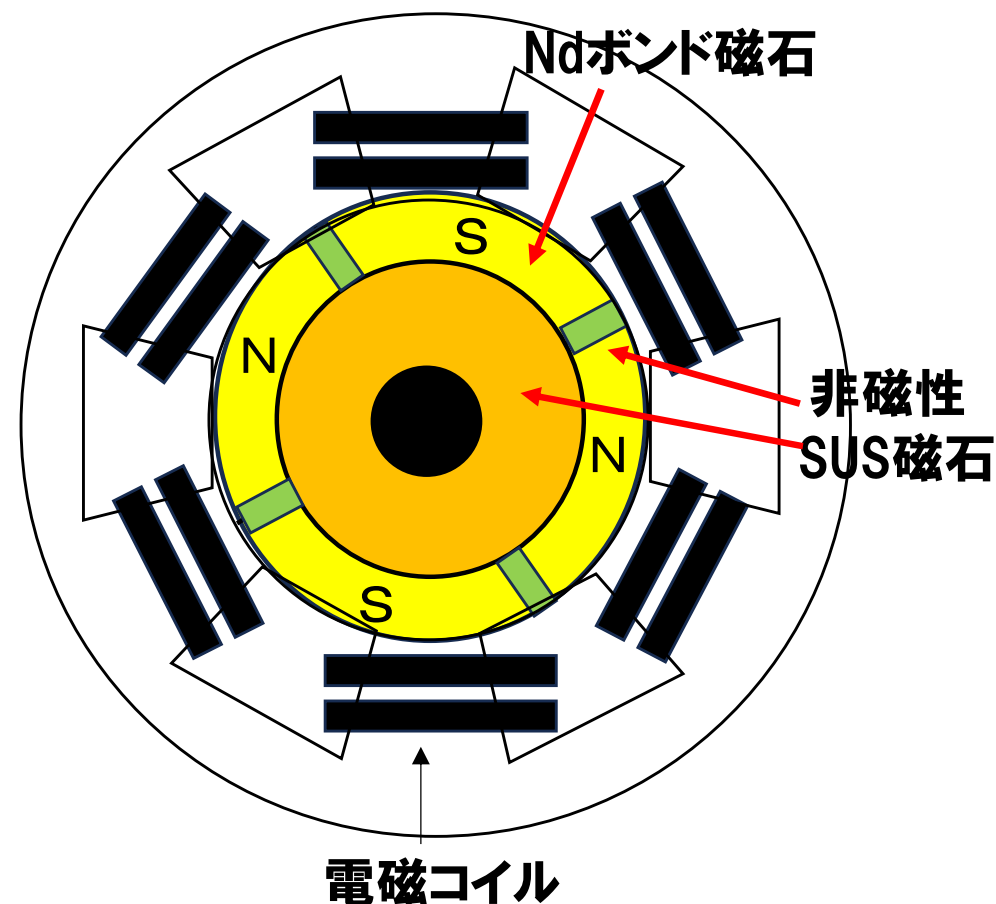
モータ本体に
インバータ内蔵
+
100W モーは
USB電源使用
(電源省略)

(9)SPMモータへの応用

特許出願中

ロータの構造 非磁性の突起付きのステンレス磁石積層板

- 20万回転を実現(発熱防止)
- 極異方性着磁とステンレス磁石で起磁力アップ
- 非磁性部で漏洩磁束低減



(10) IPMモータへの応用

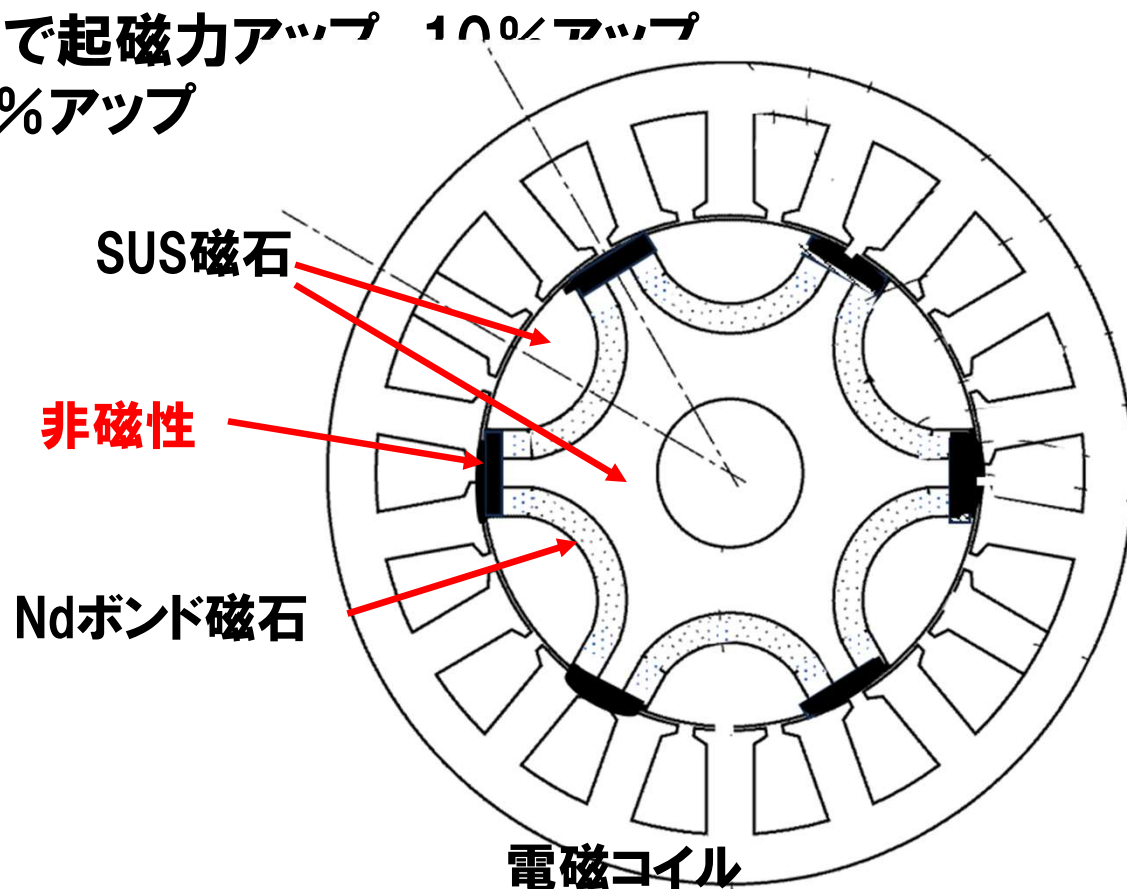
目的： 1Kw～100Kw級のIPMモータの50%軽量化

特許出願中

ロータの構造 円弧状溝付のステンレス磁石積層板の一部を非磁性化

効果

- ・12万回転を実現(発熱防止) 4倍軽量化可能
- ・極異方性着磁とステンレス磁石で起磁力アップ 100%アップ
- ・**非磁性部**で漏洩磁束低減 30%アップ



次代を担うMagnetics技術開発

20世紀はElectronicsの時代、21世紀はMagneticsの時代

- 1章 マグネデザインの紹介
- 2章 Magnetics技術入門
- 3章 ビッグデータ時代と当社のGSR磁気センサ
- 4章 エネルギー革命と当社の新磁石
- 5章 提言 Magnetics未来産業創出戦略

2023年10月6日

本蔵義信

工学博士

マグネデザイン(株)代表取締役社長

元日本磁気学会副会長

5章 (1)提言 Magnetics未来産業創出戦略

【NEDOに国家プロジェクト案を提案】

公募名称:新技術先導研究プログラム_2023年実施RFI

受付番号:20230829-145559-9440-29-456-enquete

【提案趣旨】

20世紀のデジタル革命による豊かな社会が切り開かれたが、その**負の遺産**としてエネルギー・環境問題が深刻になっている。21世紀はMagnetics 技術は**エネルギー効率**を劇的な改善を可能にして、環境危機の克服に貢献。

【主な未来産業ターゲット】

- 1) 次世代量子コンピュータ
- 2) **MRAM(磁気メモリ)** DRAMの消費エネルギー1/1000
- 3) **EV モーター**・小型モーターの高効率・軽量化 50%軽量化
- 4) 超伝導磁石と輸送システム革命 磁気浮上と摩擦レス輸送システム
- 5) 磁気冷凍 冷凍効率10倍
- 6) 発電・トランス 小型化・効率化(損失 30% ⇒ 5%)
- 7) **生体磁気診断装置** 磁気顕微鏡、小型MRI、脳・心磁図診断

(2)次世代メモリ技術は、DRAMからmRAMになる

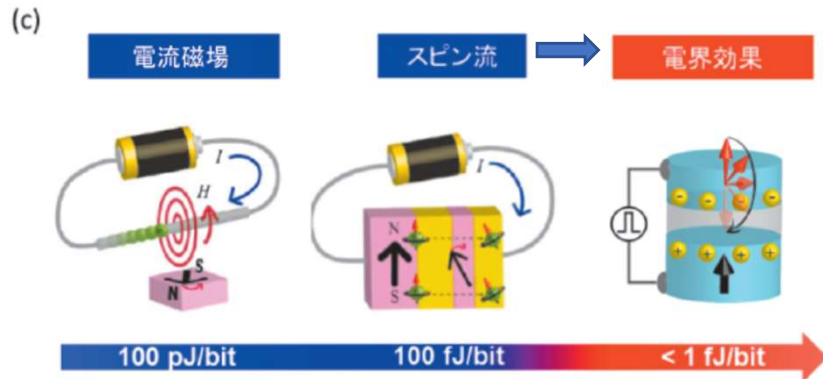
MRAMは、消費エネルギーを1/1000に減少

(1) mRAM方式の進化

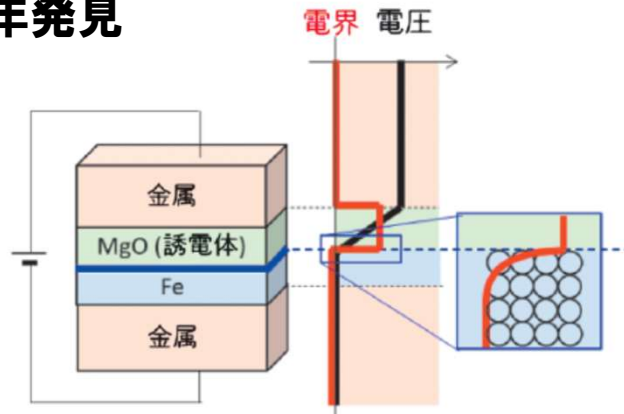
現行方式
TMR素子
水平磁化

開発中
垂直磁化TMR
メモリ密度アップ

将来の本命技術
電圧書き込み式
消費電流1/1000

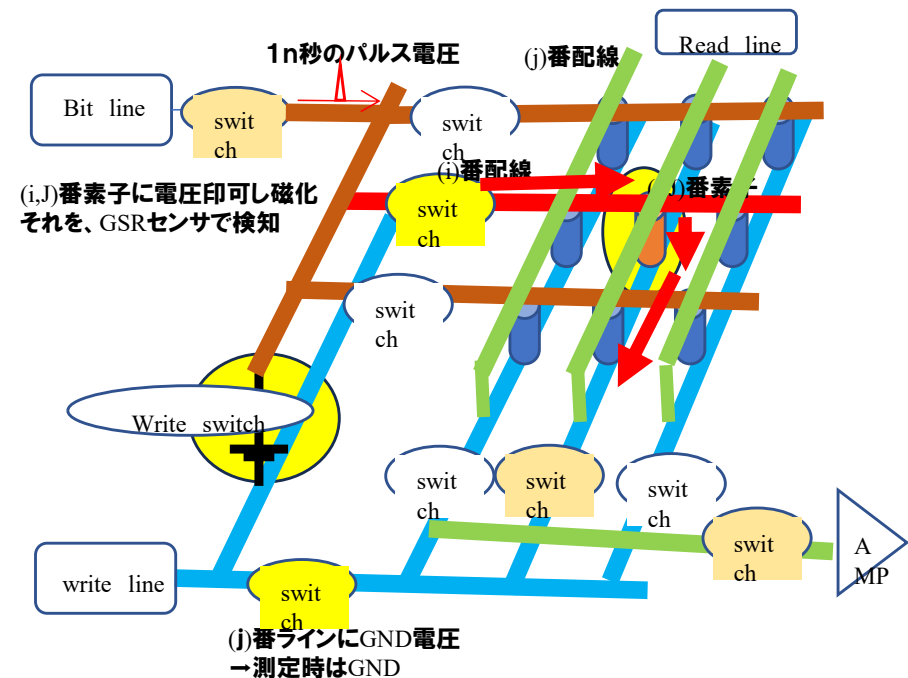


(2) 将来の本命技術の原理的構造 2007年発見



(3) mRAM開発のアイデア

- 電圧書き込み磁性材の開発
- ナドットのメモリグリッド
- 2nmの配線とスイッチ制御
- 超高速読み取りセンサの開発



(4) 展望

mRAM技術で世界1になれば、日本の半導体産業は復活する

(3)EVモータの50%小形・軽量化

Dyを省略したNd希土類ボンド磁石を採用
(Ndは世界に広く大量に存在)

高速回転 1万rpm⇒3万4000rpm

非磁性複合ステンレス磁石採用 (磁束漏洩防止)



愛知製鋼の試作品の例

(4)EVモータ基本デザインは戦国時代

本命デザインは？ スピントロニクスとデジタル融合技術の主戦場

①Nd焼結磁石 + 1層



③スポークタイプの構造 (GE) 磁極の鉄を飽和させる構造

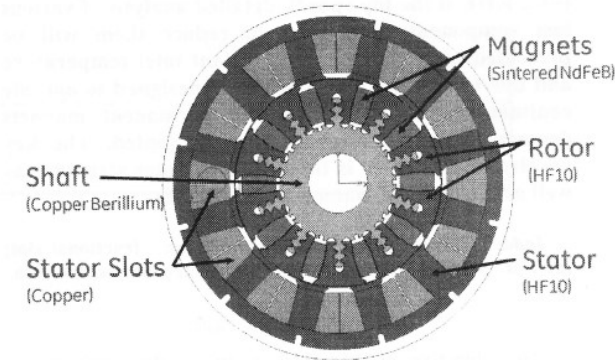
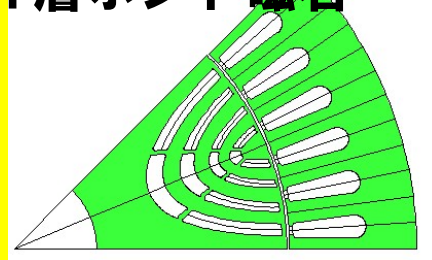
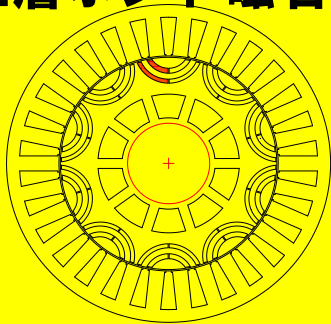


Fig 2: Cross-section of the full motor

②ボンド磁石 + 2層or4層

2層ボンド磁石

4層ボンド磁石



④3次元デザイン (Nova Torque)

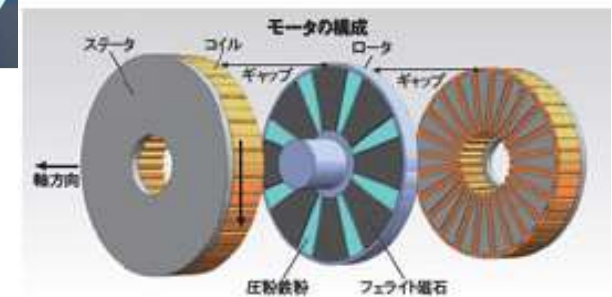
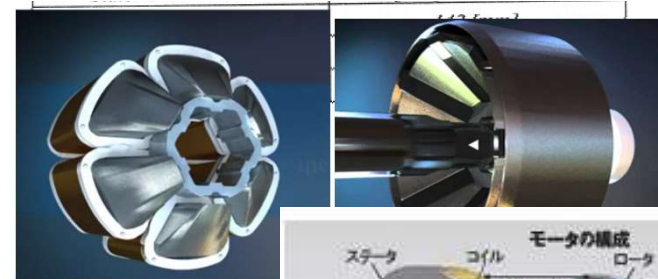


図12 ● アキシヤル・ギャップ・モータの構造

磁石の多層化・多極化・高速回転化
+ 非磁性改質

(5)pTセンサの開発と医療機器の革命

【PTセンサの開発】

目標: GSRセンサの検出力を 1nTから1pTに改善
素子サイズを 2mmから0.5mm
方策: アモルファスワイヤの改善 Vortex構造へ
コイルピッチ 3 μm から0.3 μm へ
GSR素子、ASICの改善他

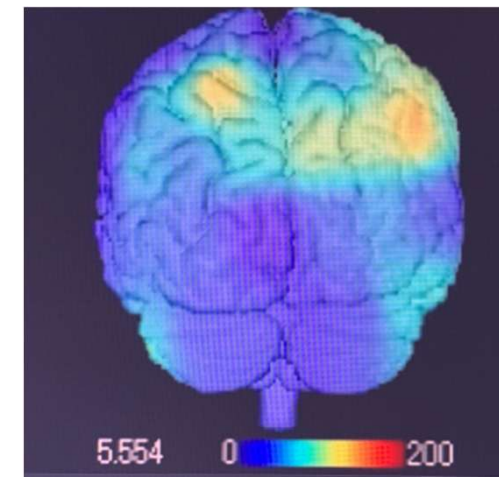
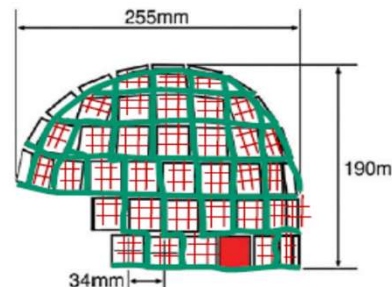
【生体磁気 診断装置】

現在の脳磁図診断装置
10億円の巨大装置

脳の活性度を診断できる
MRIは、脳の組織構造の診断



ウェアラブルタイプの
診断装置を目指す



まとめ 21世紀 デジタル革命とMagnetics戦略の融合

1)時代認識

20世紀はElectronicsにより、サービスが拡大・**便利**になったが、
→**環境・温暖化**問題が深刻化

21世紀は**Magnetics**により、**エネルギー効率・省資源化**が飛躍的に改善する時代

2)日本の役割

日本は、Magnetics技術では **世界をリードしている**

Magnetics技術とデジタルの融合技術で日本経済の競争力を強化する



Thank you for your kind attention!

