

Magnetics 独創研究開発 Project 討論会

1) 14:00～スタート(司会者挨拶)

* 来賓とProjectメンバーの紹介

2) 14:10～14:40 本蔵挨拶と基調報告

* 冒頭で石井正純様を紹介し、ご挨拶頂く

3) 14:40～16:40 メンバーからの研究紹介 & 自己紹介

14:30～14:45 徳島大学 市川哲雄様

14:45～15:00 東京医科歯科大学/金澤教授

東京歯科大学/上田教授

PAM社/ Rudi様

15:00～15:15 豊田工業大学 佐々木実様

15:15～15:30 名古屋大学 内山剛様

15:30～15:45 豊田工業大学 藤崎敬介様

15:45～16:00 名古屋大学 秦誠一様

16:00～16:15 工学院大学 赤城文子様

16:15～16:30 九州工業大学 竹澤昌晃様

4) 16:40～17:00 自由討論

ご来賓の紹介

石井 正純様 AZCA, Inc. 代表



社本 朗様 愛知県庁 経済産業局 産業部 産業科学技術課 課長



齋藤 宏一様 美浜町 元町長



浜崎 祐司様 株式会社明電舎 元取締役会長



大森 賢次様 日本ボンド磁性材料協会 専務理事



水野 純生様 株式会社コーテック・インターナショナル 代表



上村 蕾様 株式会社マグネア 取締役



前田 信敏様 NV Ventures株式会社 代表



Magnetics未来産業創出を目指した研究開発構想

プログラム 2:10～2:40分

講演

1章 はじめに マグネデザインの紹介

2章 Magnetics の進化とマグネデザインの開発状況

3章 Magnetics未来産業創出戦略

4章 Magnetics独創研究開発Project

2024年1月19日

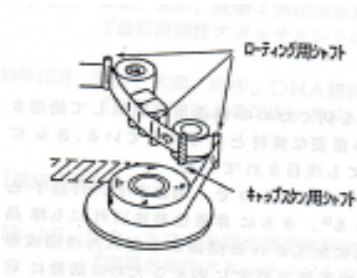
本蔵義信

マグネデザイン(株)代表取締役社長

1章 マグネデザイン(株)の紹介 (1)講演者自己紹介

1975年～
非磁性ステンレス

VTRマクロシャフトに採用
世界市場 100%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



略歴

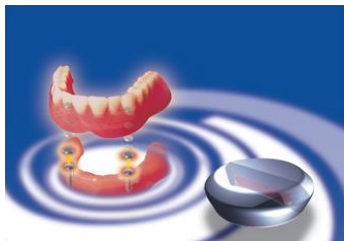
- ・名古屋大学: 応用物理学科で博士号を取得
- ・愛知製鋼: 電磁事業を設立・育成 専務取締役
- ・日本磁気学会: 副会長就任
- ・マグネデザイン社設立 代表取締役

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

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開発
1995年特許庁長官賞を受賞



1992年～
Dyフリーボンド磁石

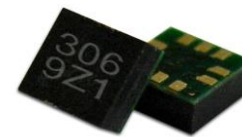
2012年 山崎貞一賞を受賞
2005年 トヨタ技術開発賞を受賞
Bosch 採用



1/4 軽量化

1997年～
磁気MIセンサ

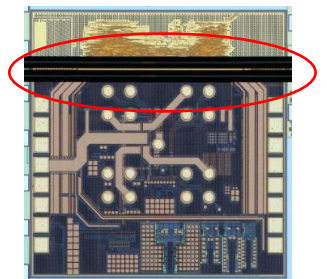
2012年産官学連携功労
文部科学大臣賞を受賞
Google/NOKIA採用



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

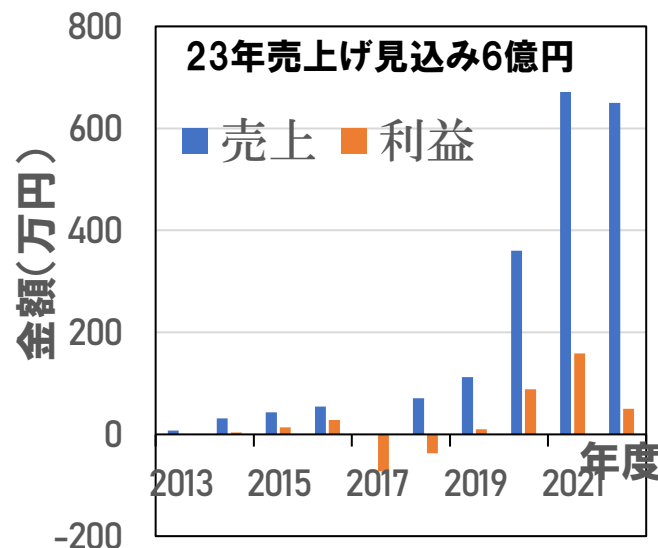
Floor space: 2,650 m²
Ground space: 3,800m²



【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 : 磁気センサ開発
GSRセンサの研究

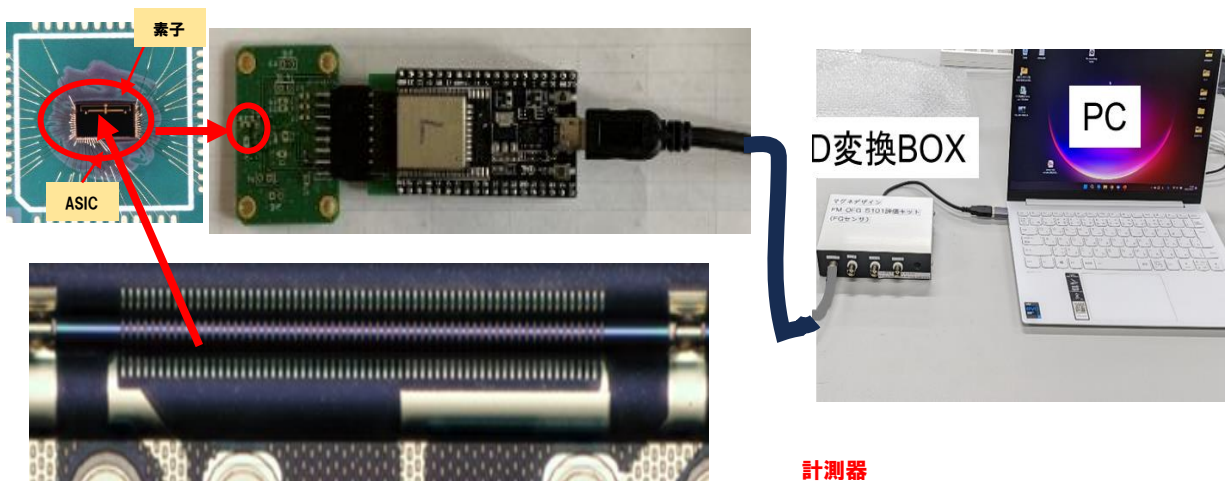


実験室4 : デンタル磁石開発
薄型磁性アタッチメントの研究



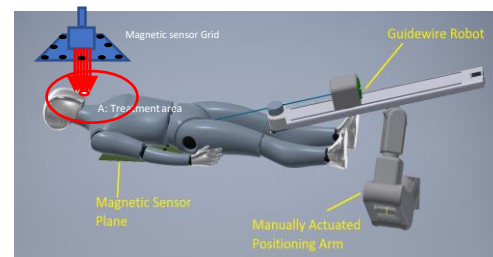
(4) マグネデザイン(株)の製品紹介

1) GSRセンサ 検出力: 1nT、小型2mm



GSRセンサの応用

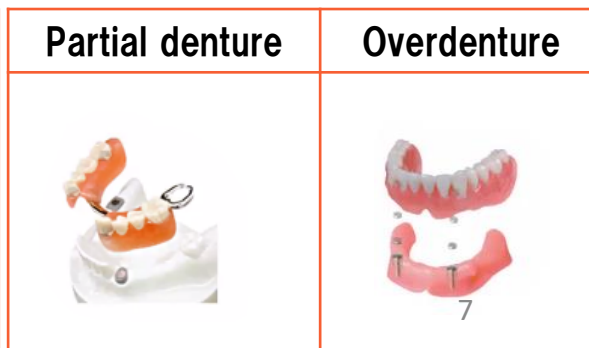
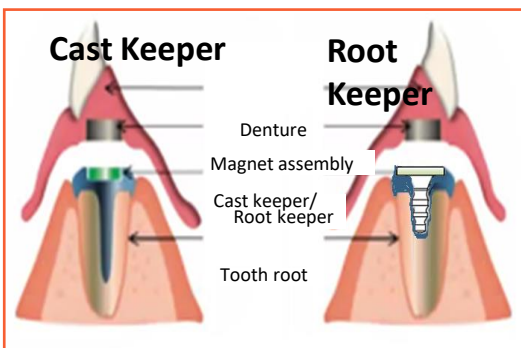
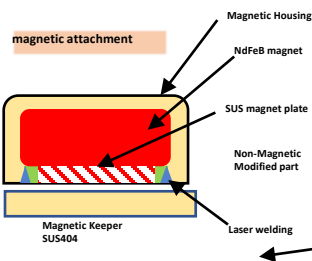
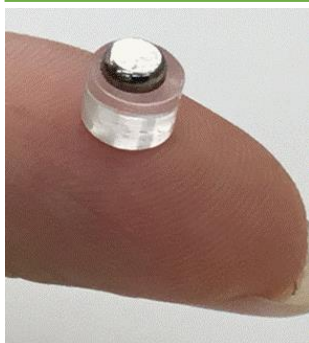
カテーテル手術ロボット



インプラント手術ロボット



2) デンタル磁石 MagTeeth 900



Magnetics未来産業創出を目指した研究開発構想

プログラム

2:00～2:40分

講演

1章 はじめに マグネデザインの紹介

2章 **Magnetics の進化**

3章 Magnetics未来産業創出戦略

4章 Magnetics独創研究開発Project

2:40～3:00

自由討論

2024年1月19日

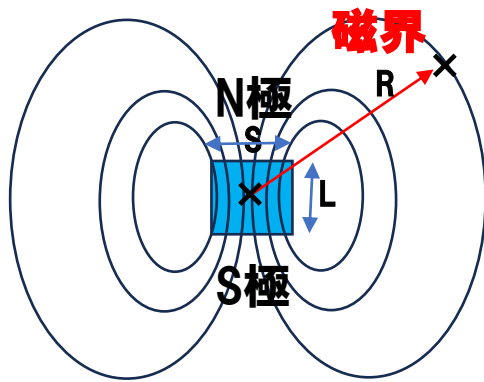
本蔵義信

マグネデザイン(株)代表取締役社長

2章 Magnetics技術入門 (1)磁気発生源と電気工学

1)永久磁石は、磁力の発生源

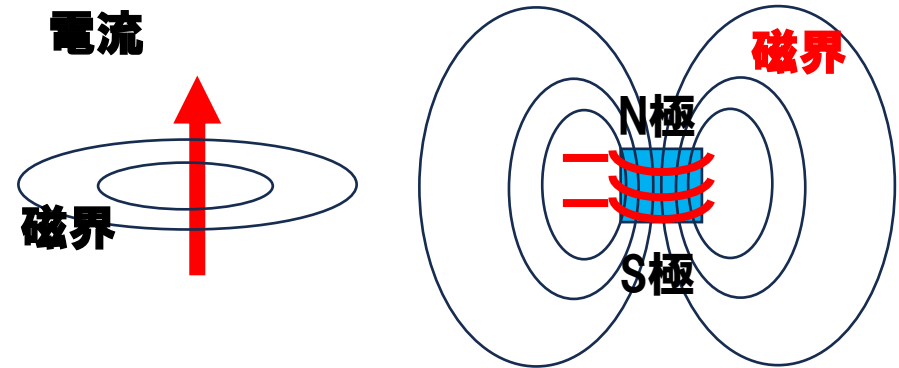
磁石N極とS極で引き合い同極で反発する
磁界空間に広がった**磁界**は M/R^3 減衰



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、磁力を発生する

直線電流から、磁力が発生する
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)

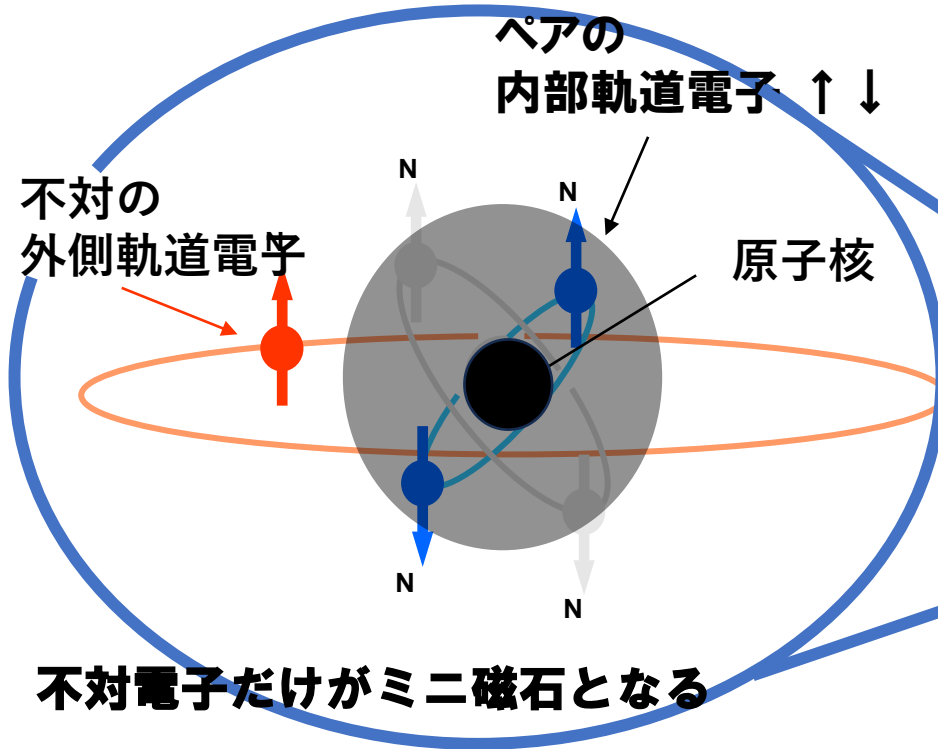
身近な存在だが、電気ほどはなじみがない

(2) 希土類磁石とは何か？ 古典から量子論へ

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

↑: spin moment

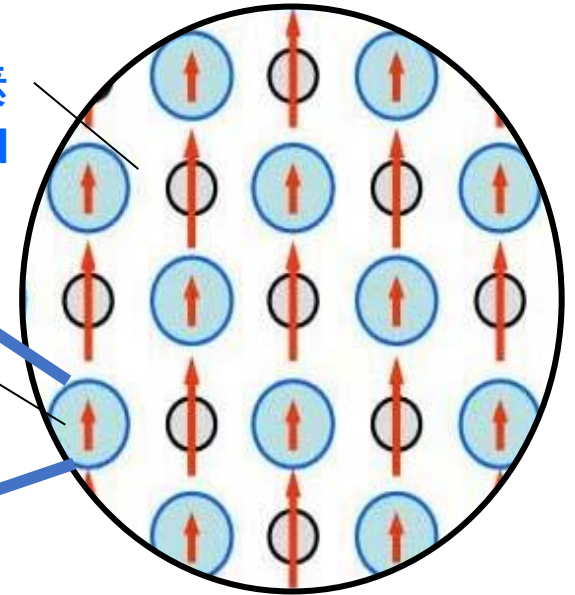


不對電子だけがミニ磁石となる

最強の磁石 NdFeB磁石
スピンの強く整理する合金の発見

希土類元素
Sm/Nd

鉄



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)

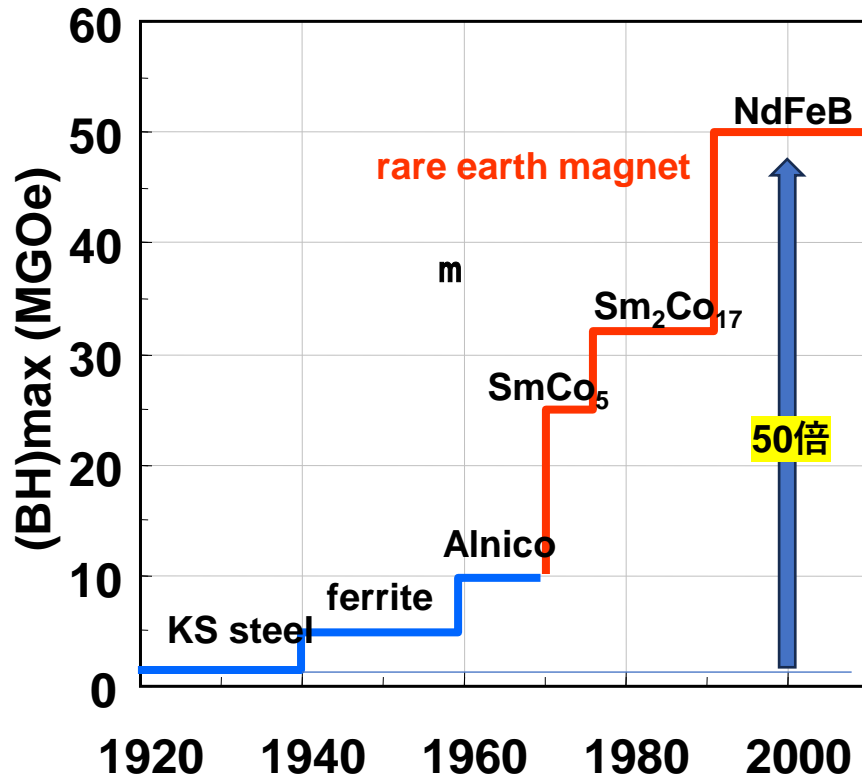
(3) 永久磁石の劇的な進歩 Magnetics産業の発展の基礎

(1) 希土類磁石の発明で性能が50倍にアップ

(2) 磁石の保磁力性能が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

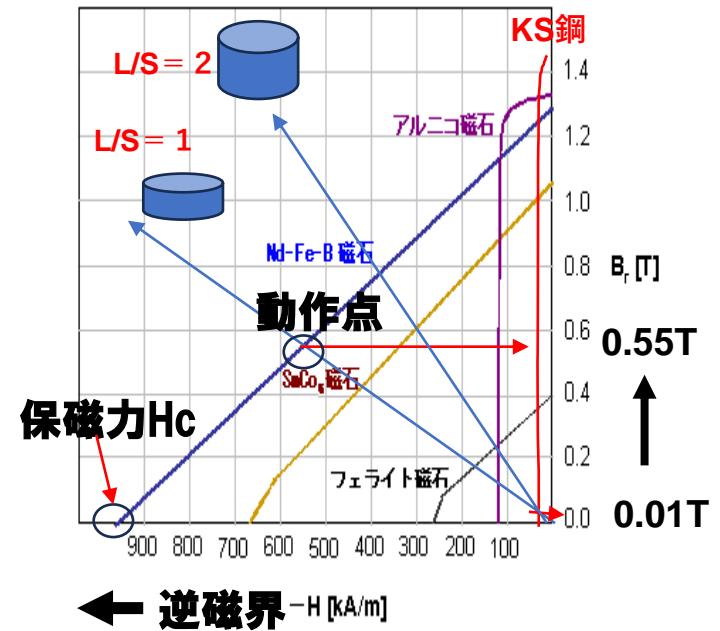
$$F \propto (BH)_{\max} \times S$$



永久磁石を使ったモータ・発電機が実用化



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

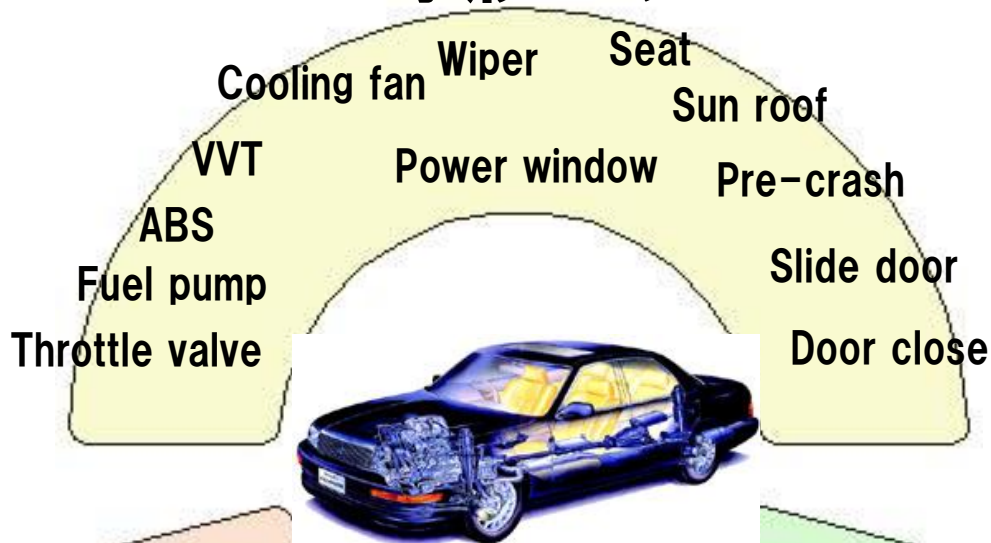


← 逆磁界 $-H$ [kA/m]
反発力のため逆磁界で使用
保磁力が大きくないと使用できない

(4)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

小形モータ (磁石使用量2万トン/year)



**③エンジン代替の
動力モータ**

(磁石使用量2万トン/year)

**② 1Kw級の
パワーモータ**

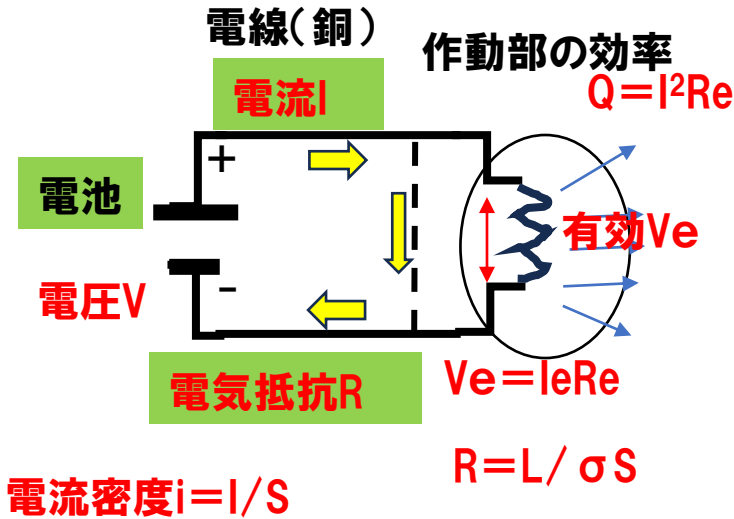
(磁石使用量2万トン/year)

(5) Magneticsの設計技術の進歩 コンピュータ解析で最適磁気回路の設計

1) 磁気回路と電気回路は類似のオームの法則が存在 $I=V/R$

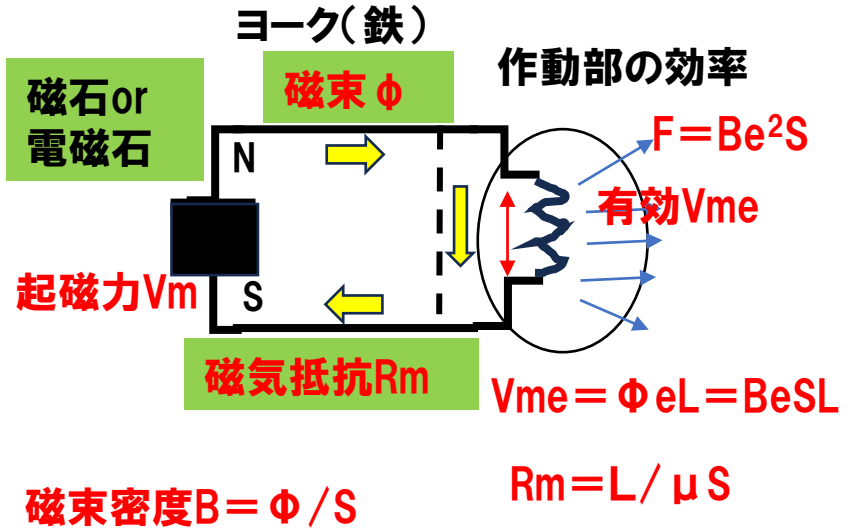
電気回路のオームの法則

$$I=V/R$$



磁気回路のオームの法則

$$\Phi = V_m/R_m$$



2) スピントロニクス: 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

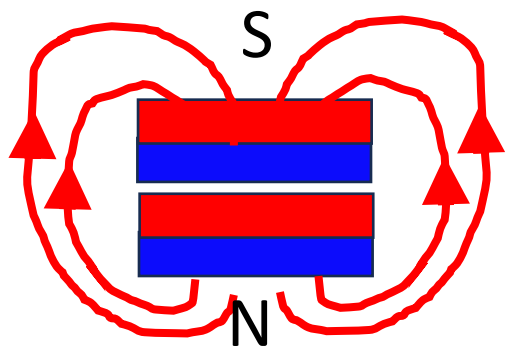
3) デジタル技術: コンピュータ解析技術による磁気回路の最適化 ⇒ マジックが実現 10倍の改善

(6)設計の一例 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(磁石あたりは20倍)

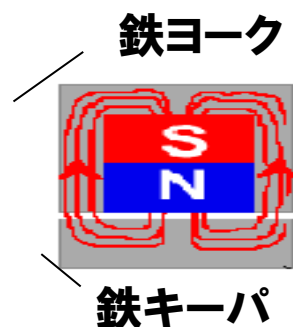
Open磁気回路(磁石と磁石)

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軽量・小型化(磁石あたり8倍)

2極タイプの磁気回路

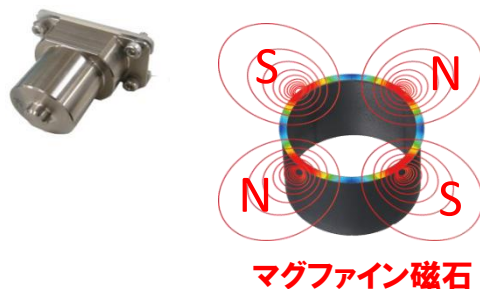
465 g



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

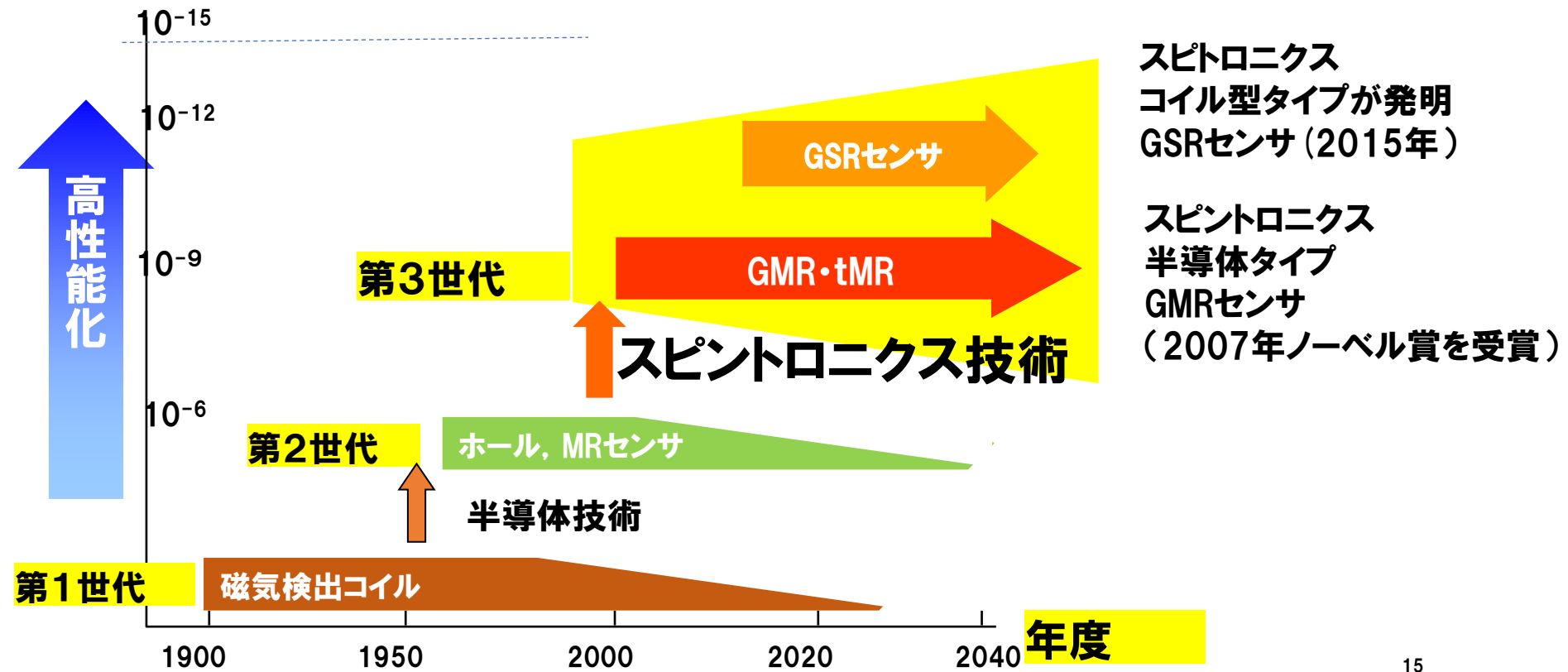
秘密の方策

- ・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)磁気センサの劇的な進歩 古典から量子論へ

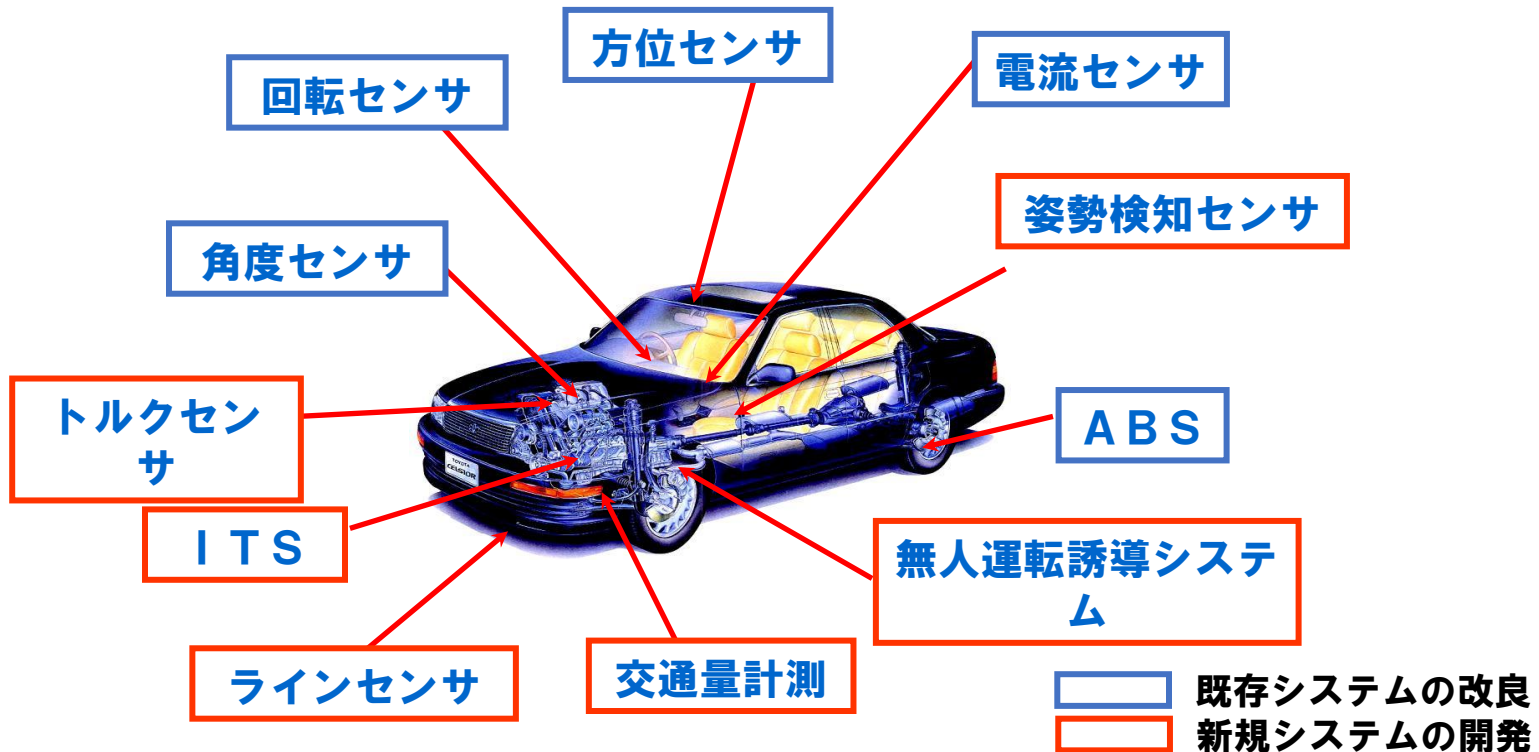
磁気センサの技術進化→高感度化・小型化・高速化・低消費電力化



(8)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

コイル型からホールセンサへ移行 ⇒ GSRやtMRセンサへ
耐環境性・信頼性が重要



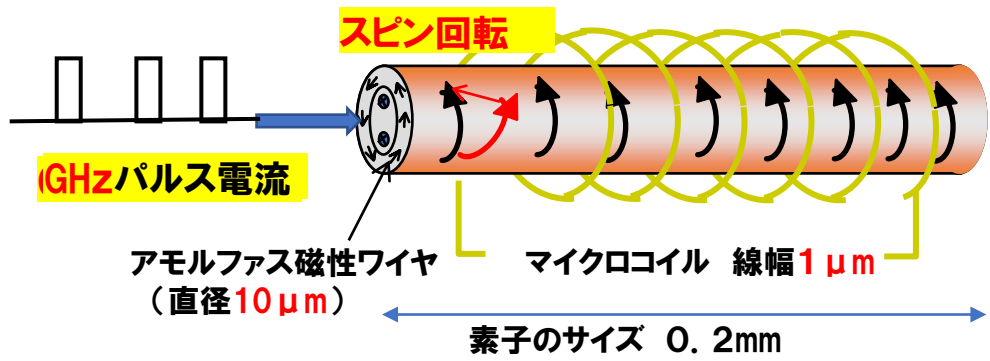
(9) 当社のGSRセンサ

2015年新あいち創造研究開発補助事業

【2015年GSR原理の発見】

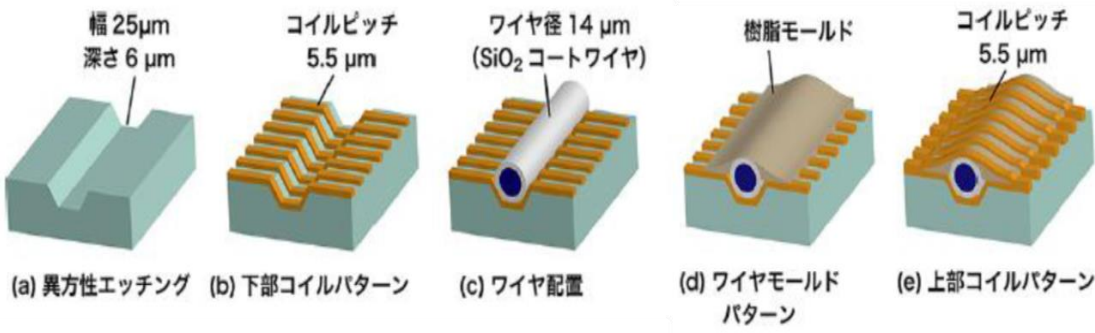
GHz-Spin-Rotation

スピンのみをGHz時間で検出するコイル型の新原理センサ
百万分の一の微小磁界を測定を可能にする

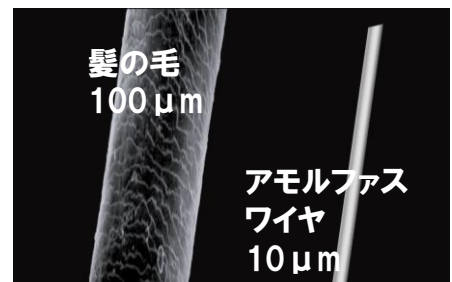


【GSRセンサの3大技術要素】

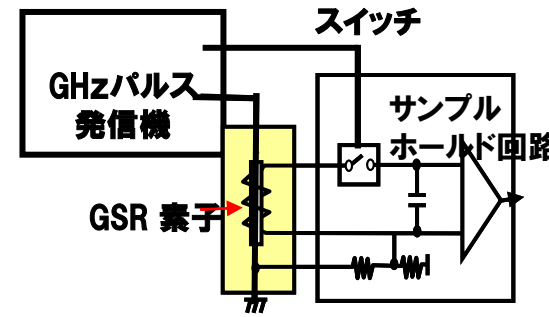
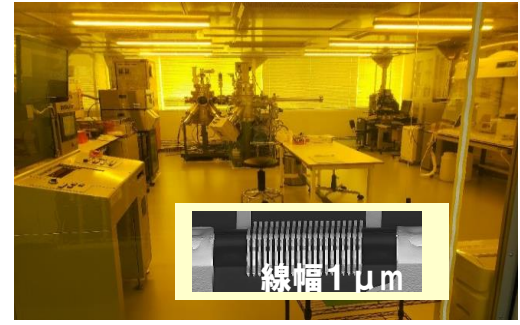
- ①アモルファスワイヤ製造法
- ②マイクロコイルの製造法
- ③GHzパルス回路技術



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

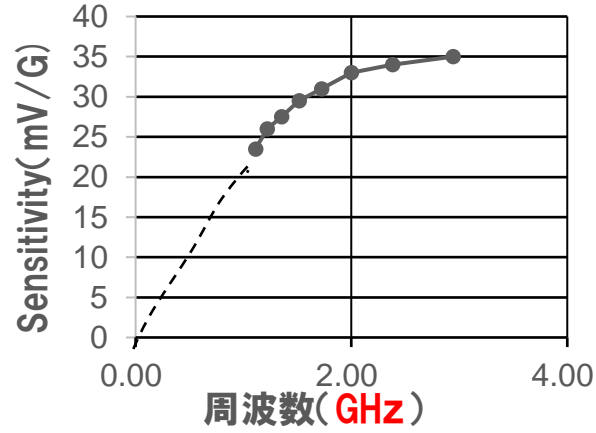


③ GHz回路GSR用ASIC

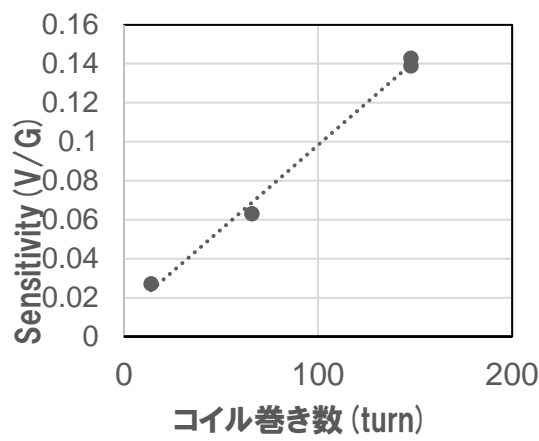
(10)スピントロニクス型の磁気センサの特質

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。

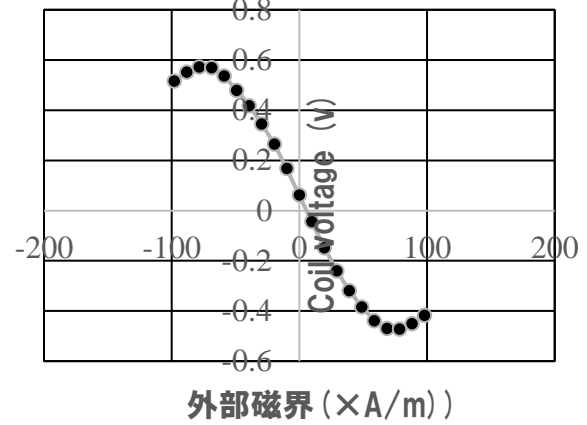
Effect of GHz frequency



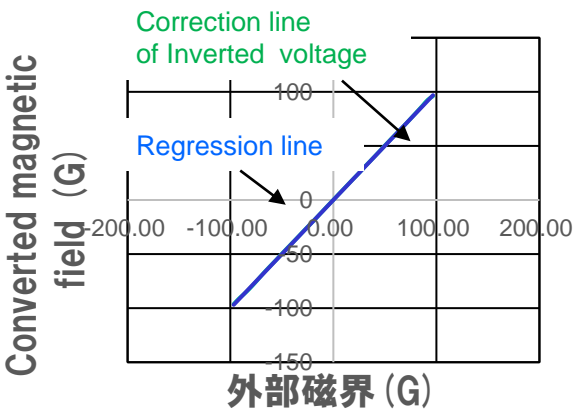
Effect of coil turn numbers



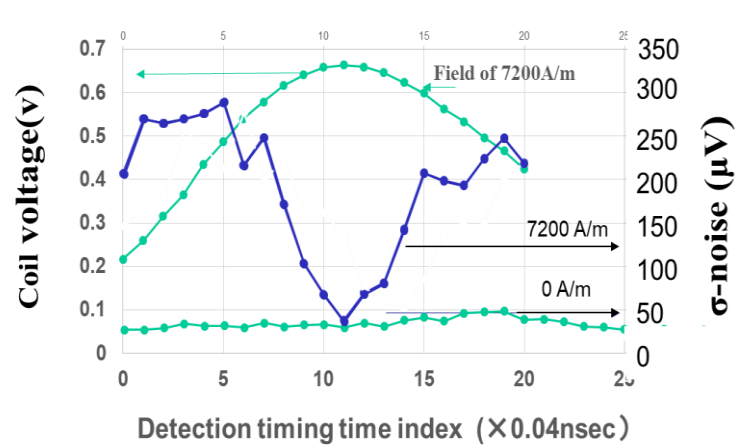
Sine functionality



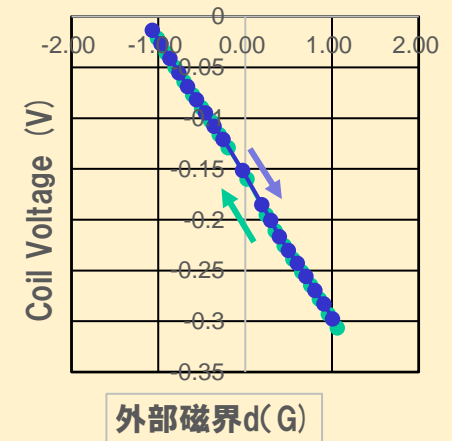
Good linearity



Low noise at peak detection timing



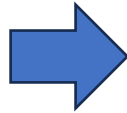
Nearly no hysteresis



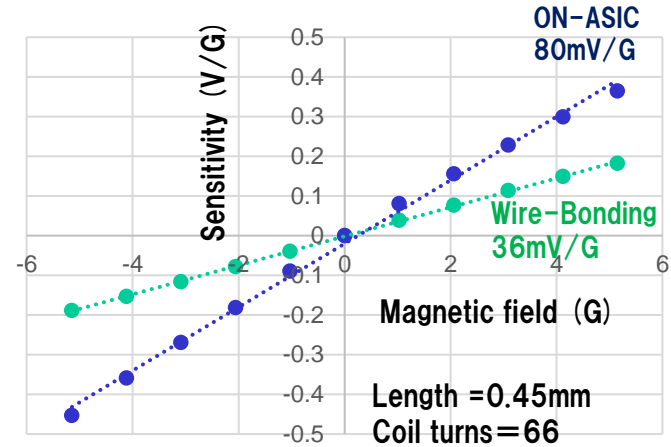
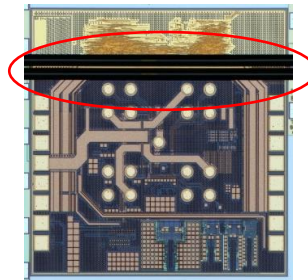
(11) on-ASICタイプGSRセンサ

1) on-ASICタイプのGSRセンサを発表

ワイヤBonding接合
GSRセンサ



On-ASICタイプ
GSRセンサ



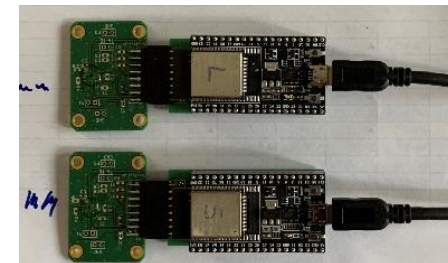
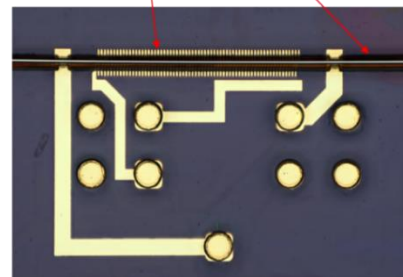
ON-ASICタイプの接合は感度が2倍になる

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

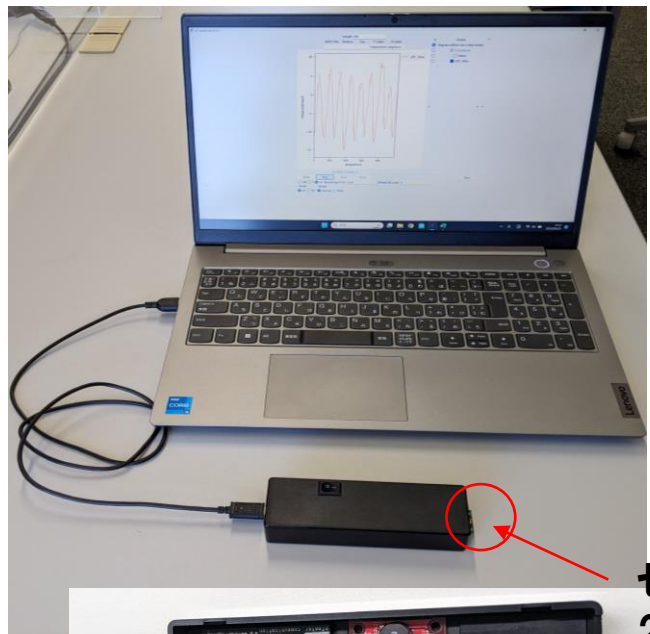
ASIC size: 1.2 × 1.2 × 0.2mm
Element: **L=0.45mm**



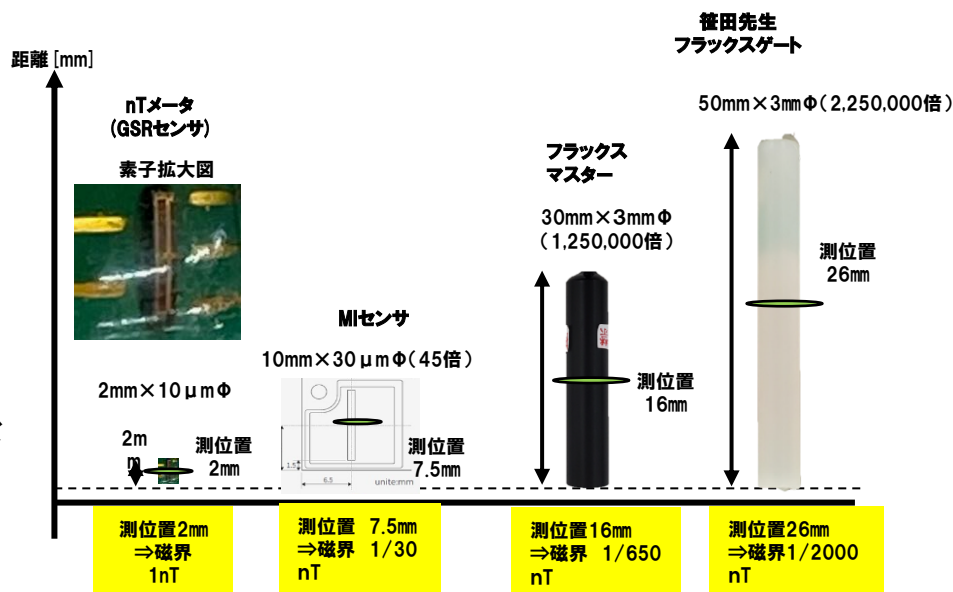
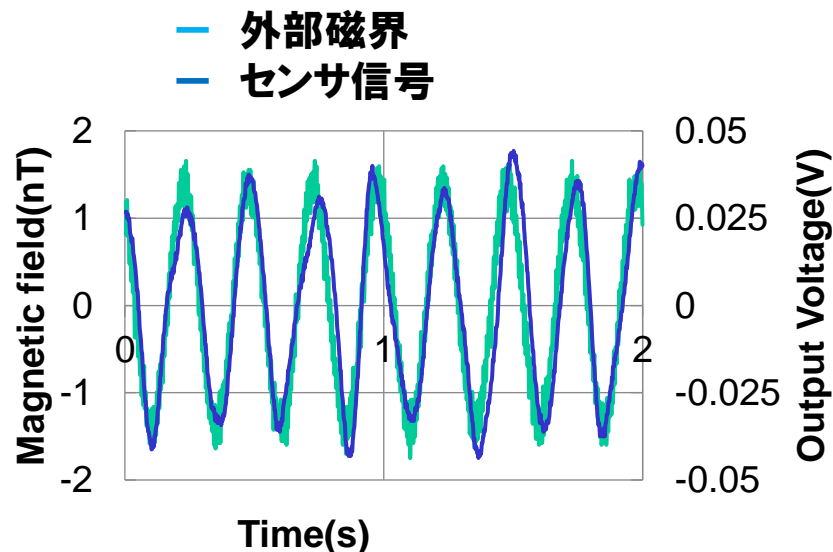
(12) 研究用 小型GSR素子を採用したnTメータの開発

【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

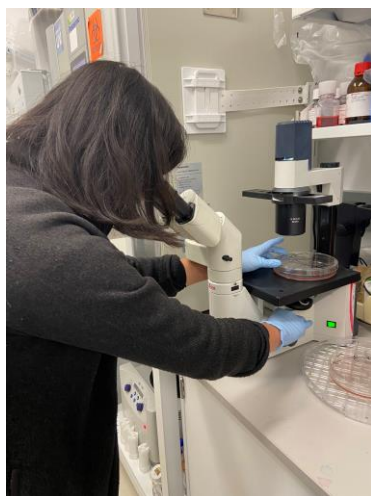


センサヘッド
2mm



(13) 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

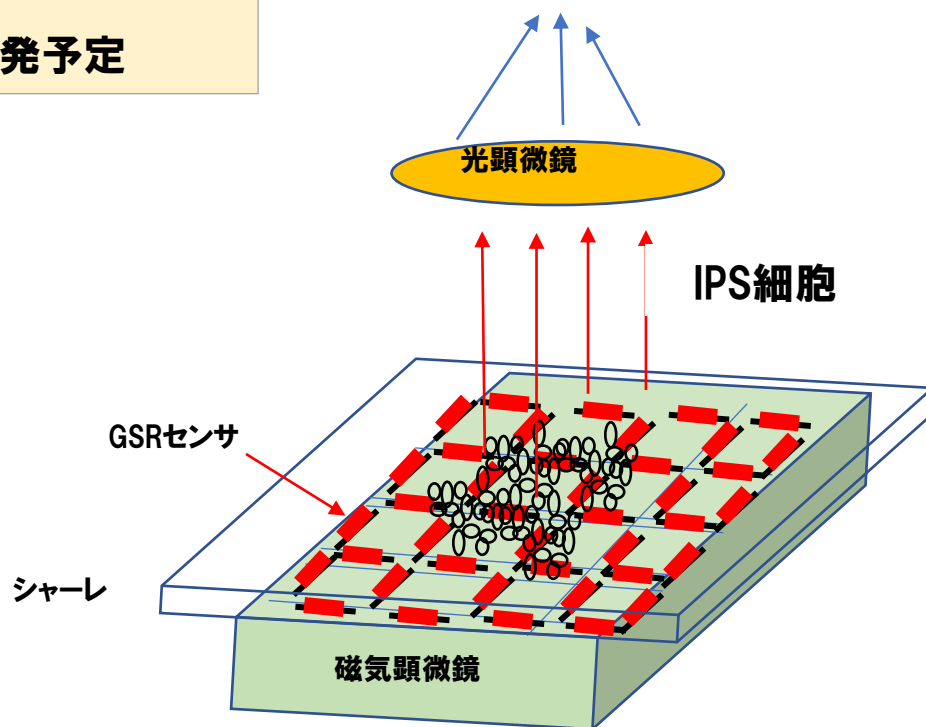


IPS 細胞の成長を観察
顕微鏡で形態・運動
磁気顕微鏡で細胞内の活力
(元気度を計測) Zhao

↓
磁気顕微鏡を共同開発予定

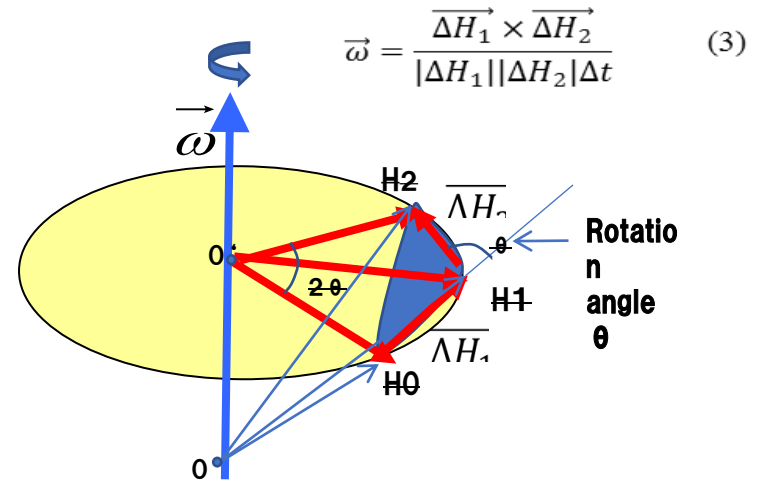
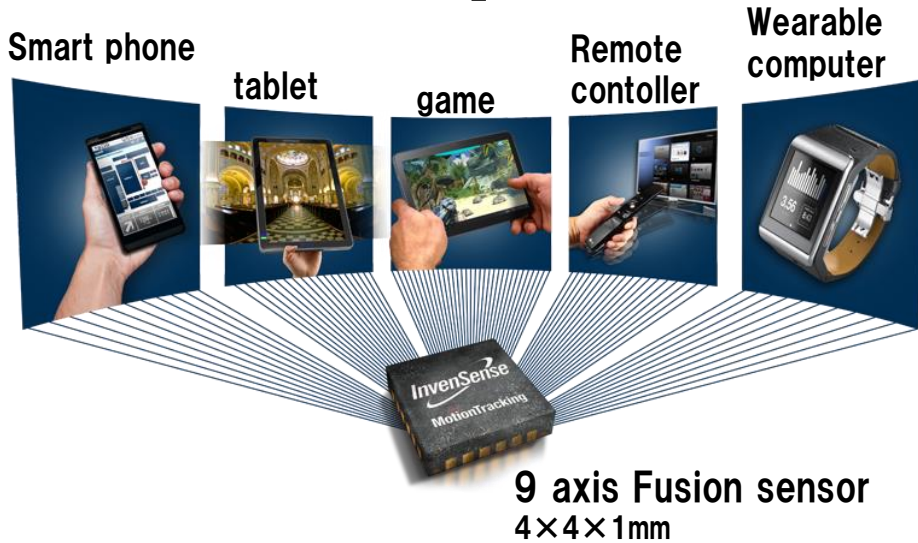


IPS 細胞の観察



(14)コンパスから リアルタイム3次元姿勢制御センサへ

Wearable computer



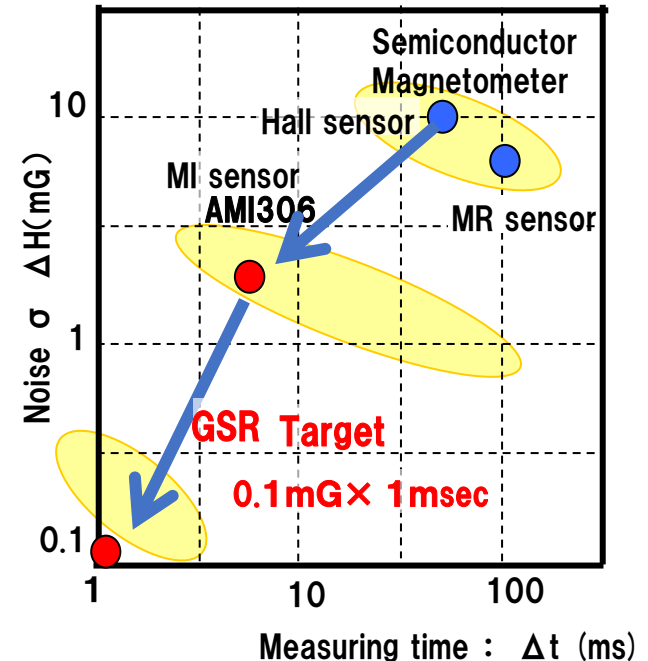
9 axis Fusion



Drawback of MEMS gyro

- origin drift is big
- expensive
- power consumption is big
- size is big

Develop m-gyro (soft gyro)
instead of MEMS gyro



(15) 微小磁界への挑戦 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 ー測定レンジ:80G

ロボット産業と高精度電流センサ

40 sensors used in one car

- Angle sensor,
- speed sensor,
- Current sensor

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



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

情報産業と姿勢制御センサ

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

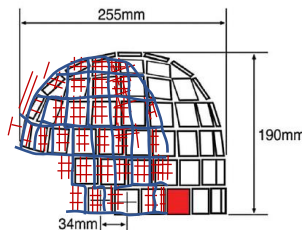


応用分野 3) 超高感度 3次元タイプGSRセンサ
生体磁気検出
-1pT@10Hz

医療産業と生体磁気センサ



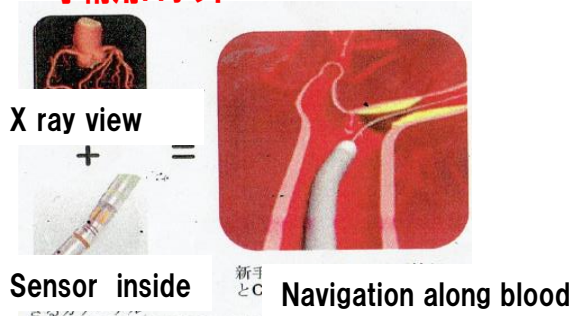
1pTの超微小磁界を測定、
地磁気の1億分の1
小型MRIで医療機器の革命



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)

医療産業と生体内ナビシステム

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



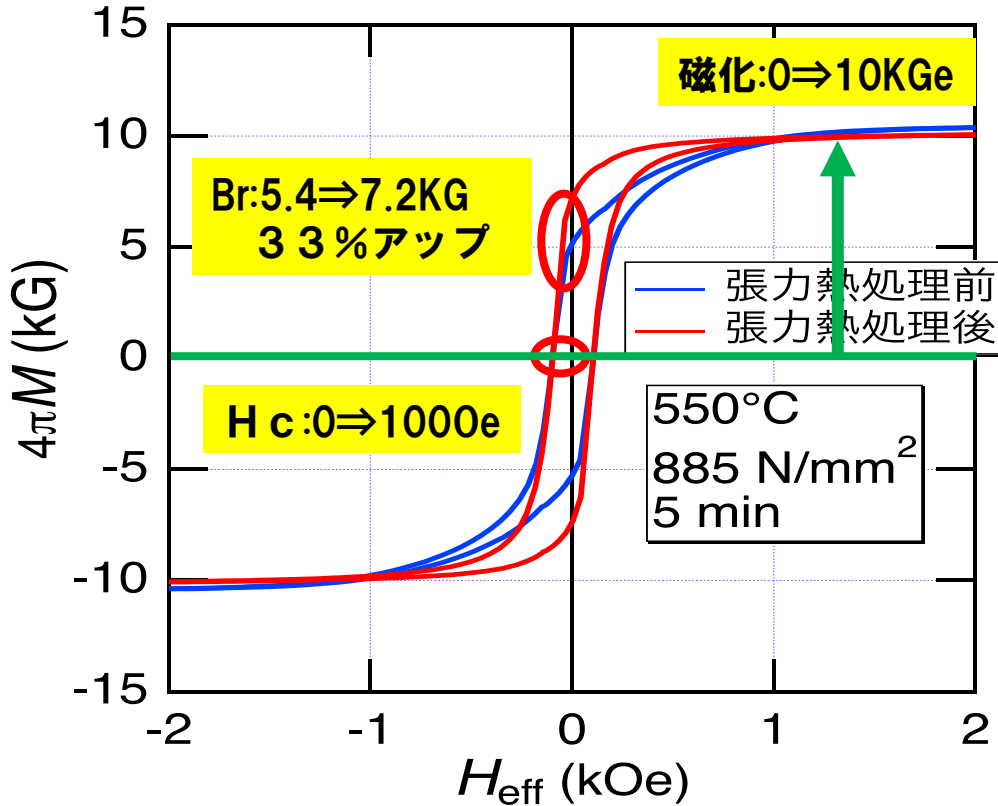
(16) ステンレス磁石の発明

特殊加工

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）



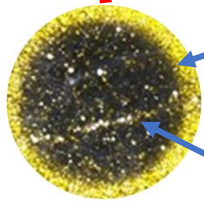
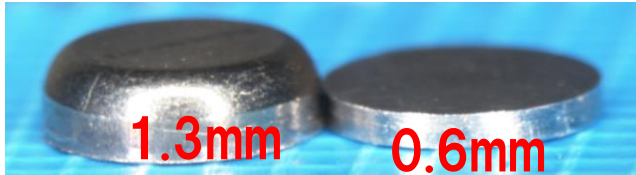
ステンレス磁石で鉄を持ち上げている様子

(17) ステンレス磁石の磁性アタッチメントへの応用

製品

円形磁石

リング磁石

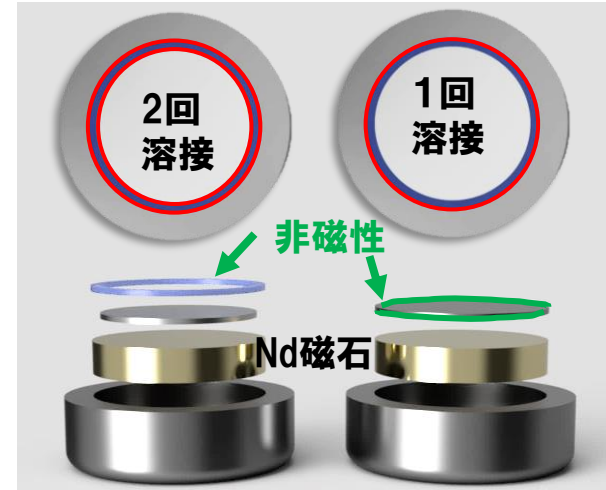
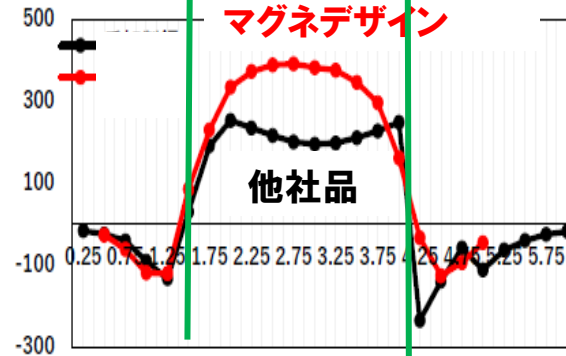


非磁性

ステンレス磁石

ステンレス磁石

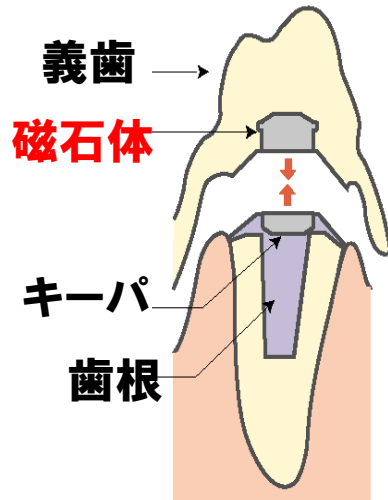
Nd磁石



精密機械加工
200円

プレス加工品
20円

磁石による義歯の固定法



総義歯
(無髓歯)

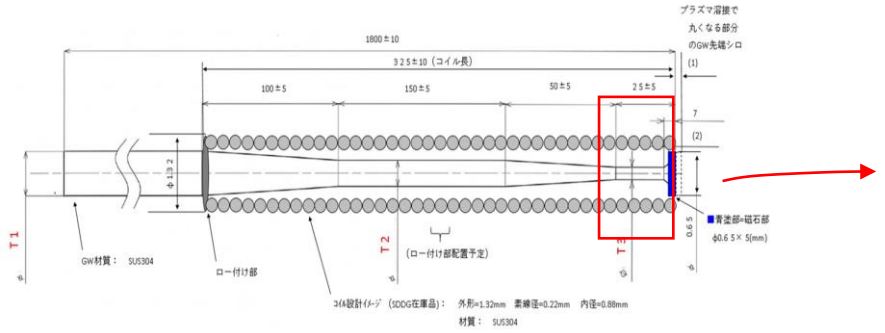


ブリッジ
(健全歯)



(18) ステンレス磁石のカテーテルへの応用

1. ナビゲーション用GWの基本構造図面



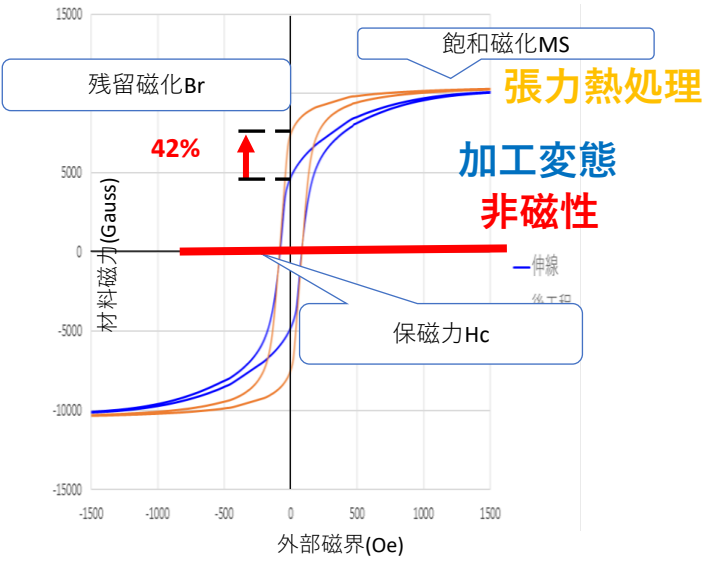
2. GW先端部 研究用



※コア材先端(5mm)部

3 SUS磁石の性能

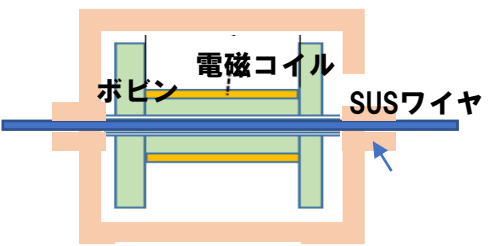
Hc:1000e, Br:900G
 非磁性⇒加工変態⇒張力熱処理



4. 着磁

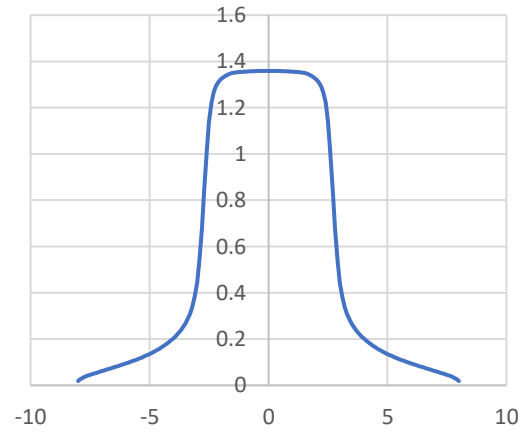
- ・ワイヤ磁石目標: $5 \times 10^{-9} \text{Wbm}$
- ・サイズ: 直径0.6mm × 長さ20mm

着磁装置



- ①コイル長:16mm
- ②電流:6A

局部着磁の結果



Magnetics未来産業創出を目指した研究開発構想

プログラム

2:00～2:40分

講演

1章 はじめに マグネデザインの紹介

2章 Magnetics の進化

3章 Magnetics未来産業創出戦略

4章 Magnetics独創研究開発Project

2:40～3:00

自由討論

2024年1月19日

本蔵義信

マグネデザイン(株)代表取締役社長

3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、環境危機を克服への寄与が期待されている。

【主な未来産業ターゲット】

- 1) 次世代量子コンピュータ 磁気ロジックは消費エネルギー1/100
- 2) **MRAM(磁気メモリ)** DRAMの消費エネルギー1/1000
- 3) **EV モータ**・小型モータの高効率・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

【開発中のターゲット】 【Magnetics学術Project】

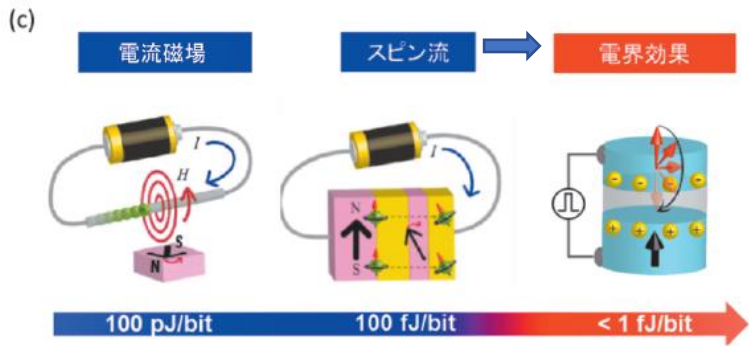
(2)次世代メモリ技術は、DRAMからmRAMになる

(1) mRAM方式の進化

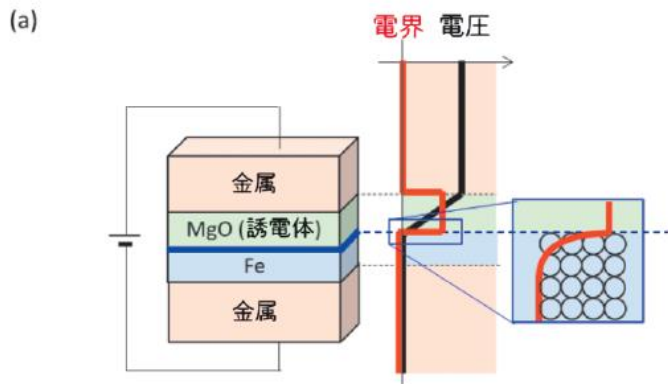
現行方式
TMR素子
水平磁化

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

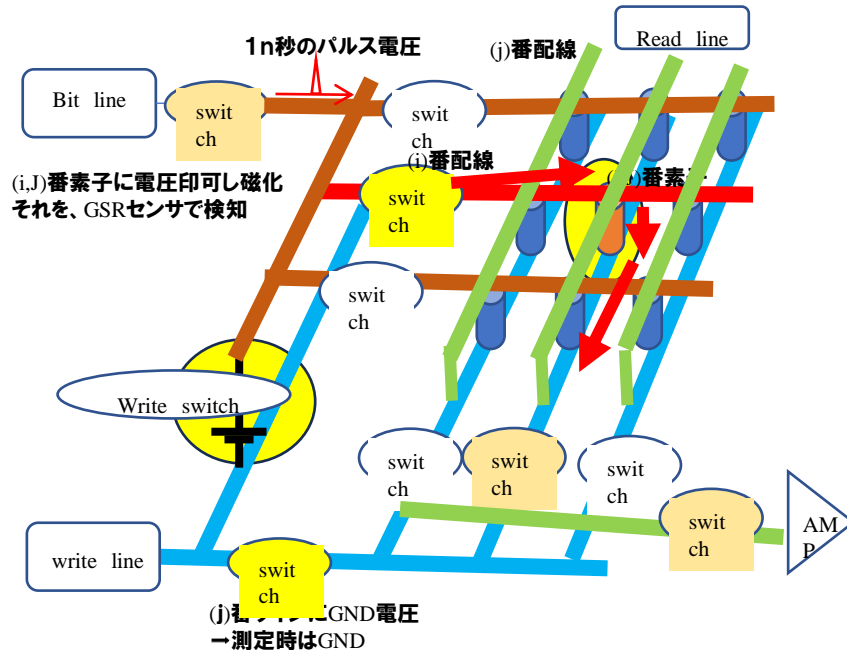


(2) 将来の本命技術の原理的構造 2007年発見



(3) mRAM開発のアイデア

- ・電圧書き込み磁性材の開発
- ・ナボ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) ロボット用 SPMモータの 50%小形・軽量化

開発目的 ロボット用小型モータの50%軽量化

特許出願中
NEDO補助事業申請

Maxson社
19mmΦ × 58mm
100g



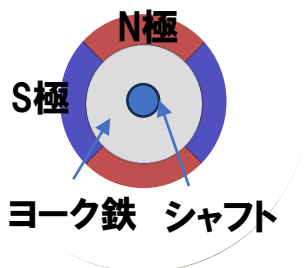
開発品
18mmΦ × 30mm
50g



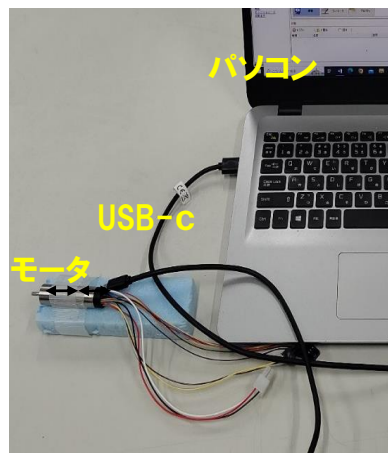
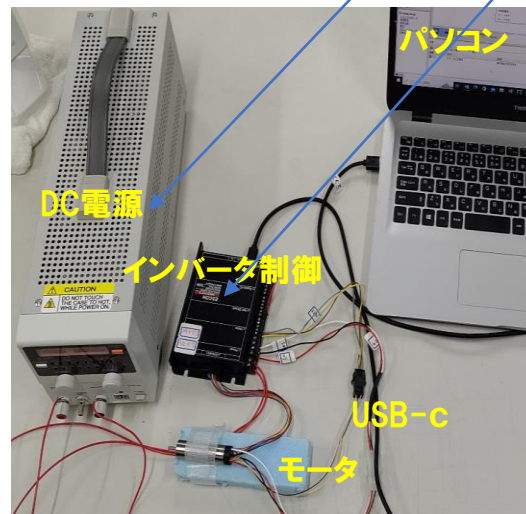
Nd焼結磁石
2極



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)

(4)EVモータの50%小形・軽量化

Dyフリーボンド磁石「マグファイン」の採用

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）



(5)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

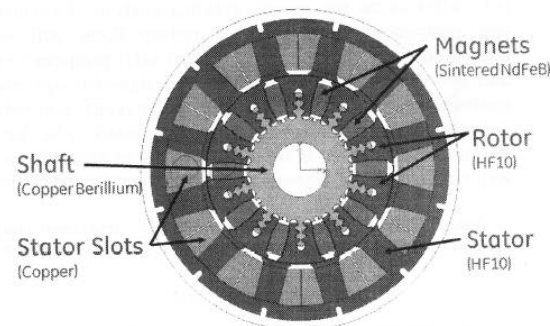
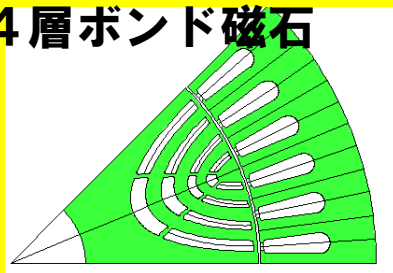
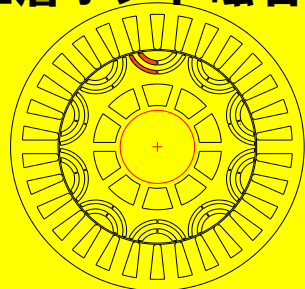


Fig 2: Cross-section of the full motor

②ボンド磁石+2層or4層

2層ボンド磁石

4層ボンド磁石



磁石の多層化・多極化・高速回転化
+非磁性改質

④3次元デザイン (Nova Torque)

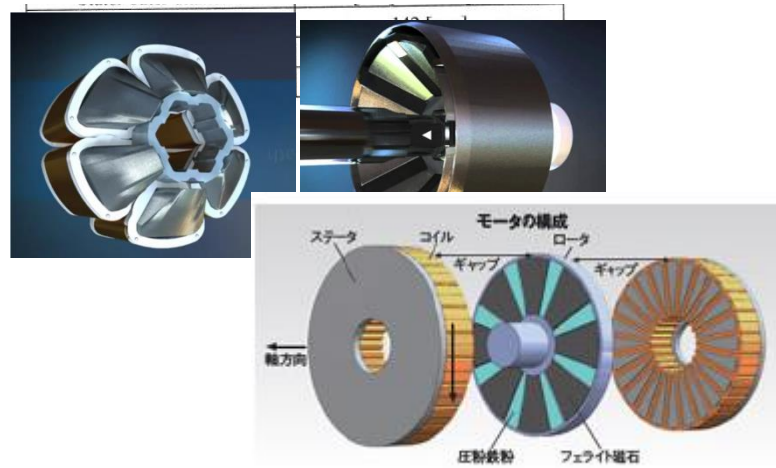


図12●アキシヤル・ギャップ・モータの構造

(6)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 μ mから0.3 μ mへ
GSR素子、ASICの改善他

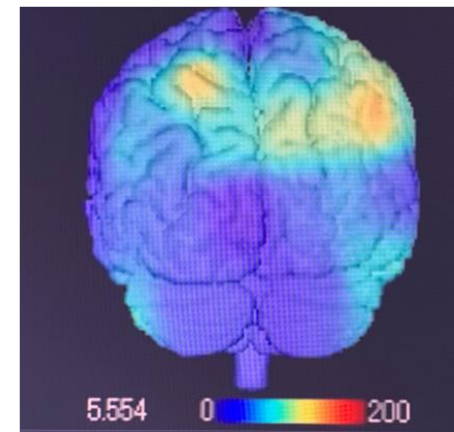
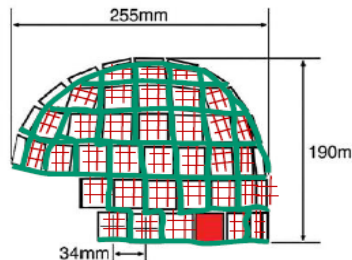
【生体磁気 診断装置】

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



Magnetics未来産業創出を目指した研究開発構想

プログラム

2:00～2:40分

講演

1章 はじめに マグネデザインの紹介

2章 Magnetics の進化

3章 Magnetics未来産業創出戦略

4章 Magnetics独創研究開発Project

2:40～3:00

自由討論

2024年1月19日

本蔵義信

マグネデザイン(株)代表取締役社長

4章 (1)開発中のテーマ

- 1) 新素材・・アモルファス合金、ステンレス磁石、FePt薄膜磁石
(マグネデザイン独自)
- 2) 微細加工・・3次元微細加工とマイクロコイル
(豊田工業大学の佐々木教授)
- 3) 磁区観察・・マイクロワイヤの磁区観察
(九州工業大学の竹澤教授)、
- 4) Micro-Magnetics 解析・・Maxwell とLLG方程式の連成解析
(工学院大学の赤城教授)
- 5) 磁気センサ・・GSRセンサ回路
(名古屋大学の内山教授)
- 6) モータは・・50%軽量ロボット用モータ
(豊田工業大学の藤崎教授)
- 7) 吸着磁石・・デンタル磁石 と磁石式義歯・ブリッジの開発
(徳島大学の市川教授、東京医科
歯科大学の金澤教授、東京歯科大学の上田教授)
- 8) マイクロMagneticsデバイス・・マイクロ発電機ほか
(名古屋大学の秦教授)

(2)Magnetics独創研究Project 構想案

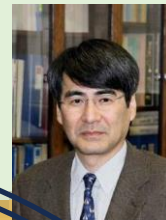
0%軽量モータ
(慶応大学 藤崎教授)



海外リーダ
(バスク大学
Zhukov教授)



吸着磁石…デンタル磁石
(徳島大学 市川教授)



デンタル磁石
(東京医科歯科大)



センサ回路
(教授)



Magnetics学術Project



デンタル
(東京歯大)

マグネデザイン
本蔵義信 リーダ



衆議院議員
古川元久 顧問予定



マグネ半島



基礎技術…
(名古屋大)

察
澤教授)



Pro-Magnetics 解析
(名城教授)

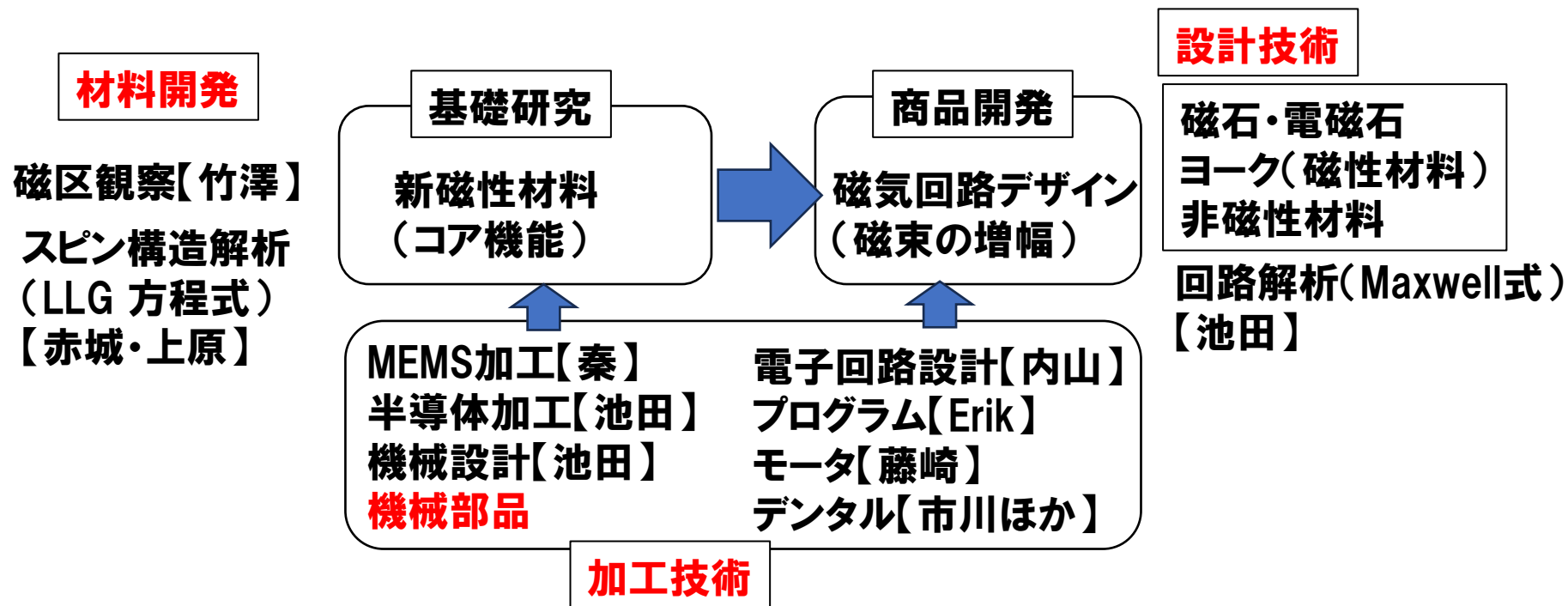


ステンレス磁石、薄膜磁石
(名古屋大学 安川教授)



微細加工…マイ
(豊田工業大学)

(3) Magnetics研究の構造 材料・基礎から応用機器まで



新産業分野	新磁性材料	磁気回路	サポート設計
磁気センサ	アモルファスワイヤ	3次元素子設計 磁気増幅設計	電子回路・部品加工 半導体加工
モータ	ボンド磁石	モータ磁気回路設計	電子・電気回路 構造設計
アタッチメント	SUS磁石	閉磁路設計	精密加工
生体ナビ	SUS 磁石 + アモルファスワイヤ	開磁路設計	電子回路・プログラム設計 ロボット技術

(4) Magnetics 独創研究Projectの進め方 事務局MDC

1)進め方

- ①Magnetics未来産業創出戦略の全体像を共有し、年2回程度バージョンアップ。
- ②それとタイアップして基礎～新産業創出の体系的な研究計画を立案。
Magnetics独創研究戦略を作成し共有する。年2回程度バージョンアップ。
- ③研究予算は、NEDO, JST, AMED、愛知県などに申請する。
- ④連携企業との商品開発契約または開発委託契約
- ⑤学術団体との連携、海外研究者も歓迎。
- ⑥国際会議などで成果発表(秘密事項の場合、特許取得後に発表)

2)提案

- Magnetics未来産業創出戦略構想 一次案NEDOに提案済み
- Magnetics独創研究研究戦略 一次案本年6月までに作成
- DX技術との融合



(5) 展望 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) 先導技術

デジタル革命: 全産業で知を結集したSocial-Brainが誕生 (AIとビッグデータ)
Magnetics(= **Spintronics**)の融合製品: 屋台骨のハード

3) 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!

