

対向させた超電導バルク磁石を 使った均一磁場の発生

新潟大学 工学部附属
工学力教育センター
教授 岡 徹雄

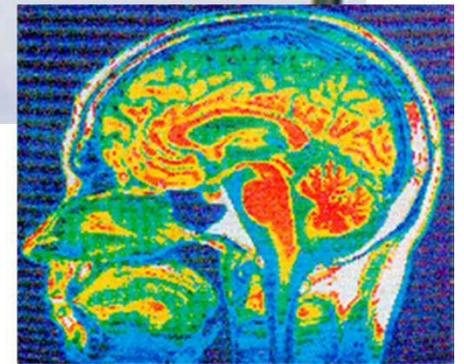
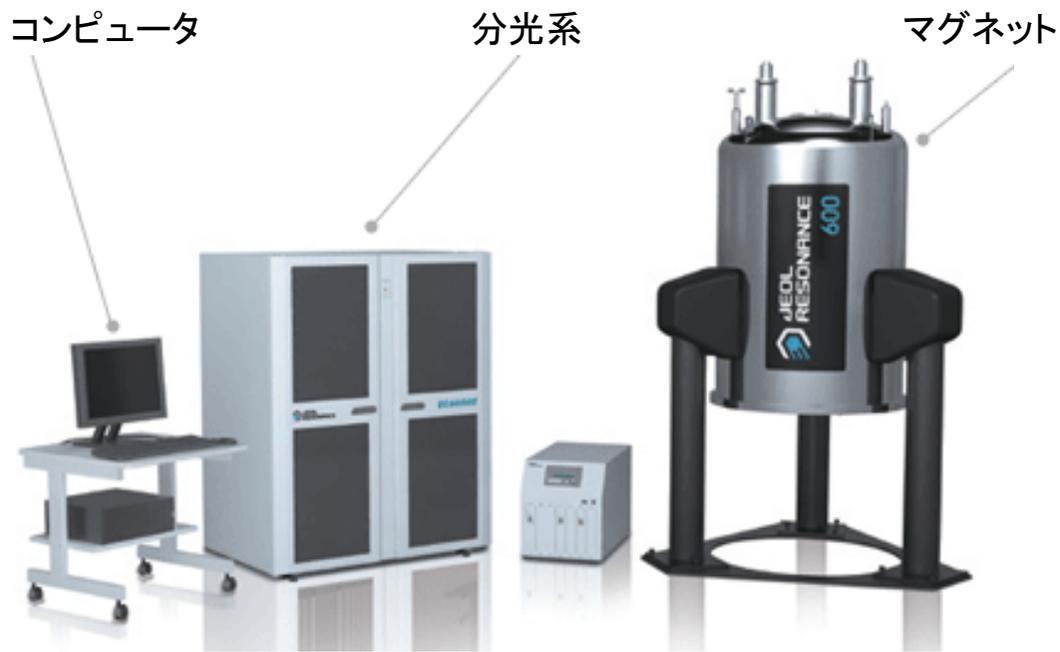


従来技術とその問題点

強い磁場の利用例

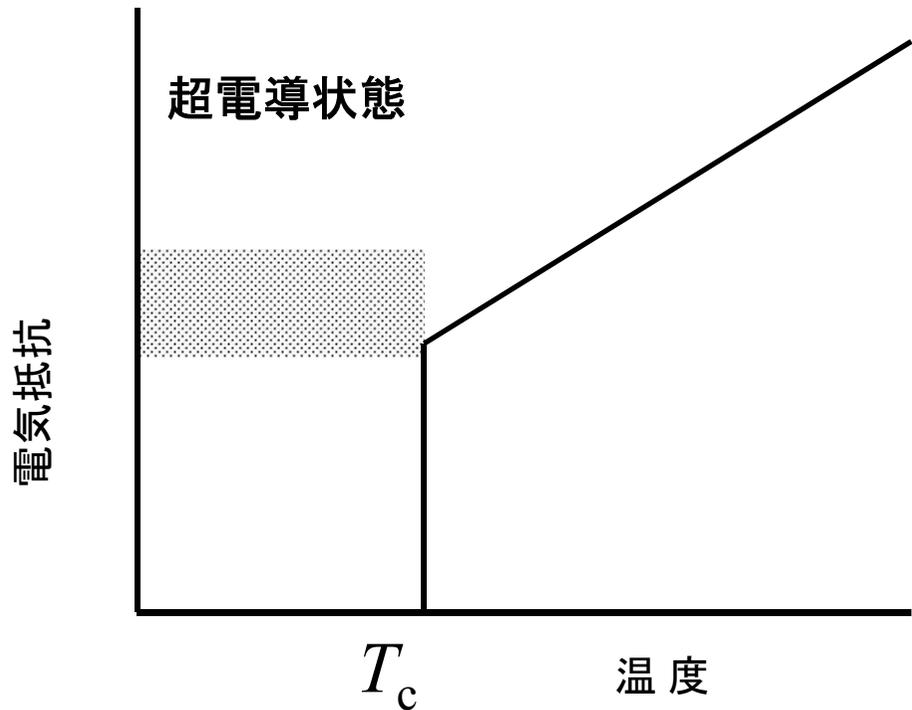
- NMR(核磁気共鳴分析装置)

- MRI診断装置

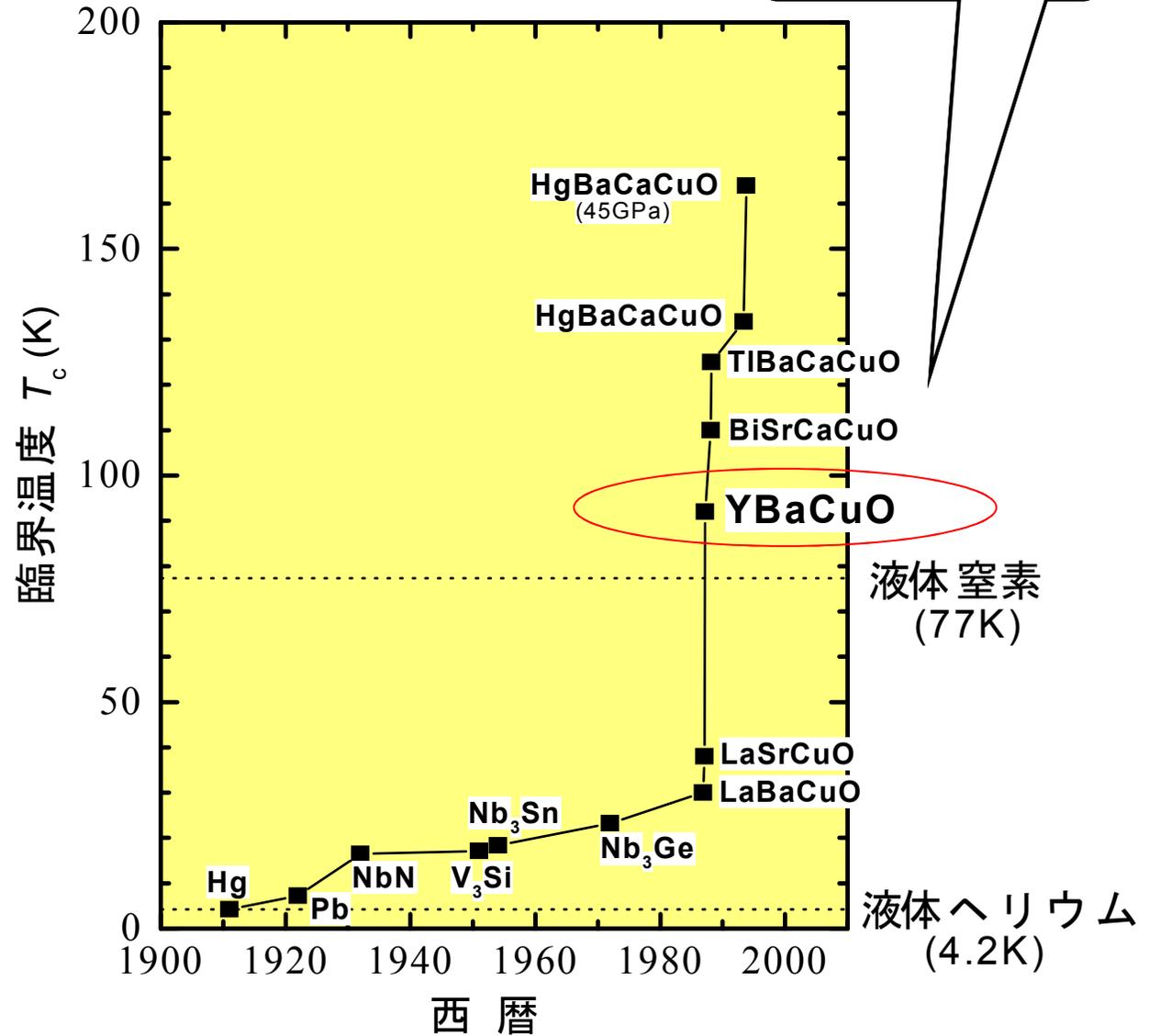


- 強磁場の発生には鉄の磁気飽和により2Tに限界
- それ以上の磁場は大型超電導ソレノイドコイルで実現
- 大型で高コスト等の問題があり、小型で安価な機器の要求

高温超電導体



臨界温度



超電導バルク磁石



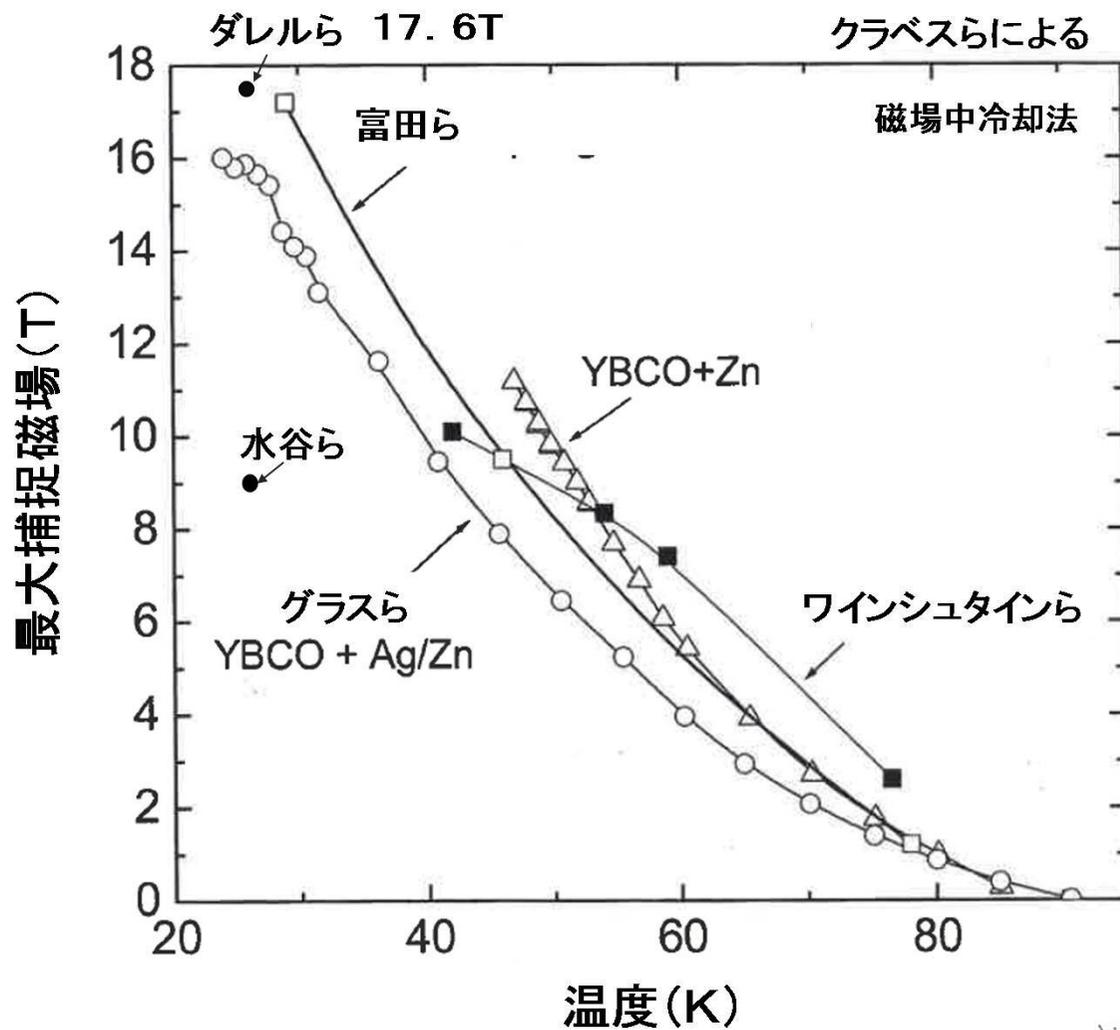
結晶成長領域 (GSR)

摂政成長粒界 (GSB)

種結晶 (跡)

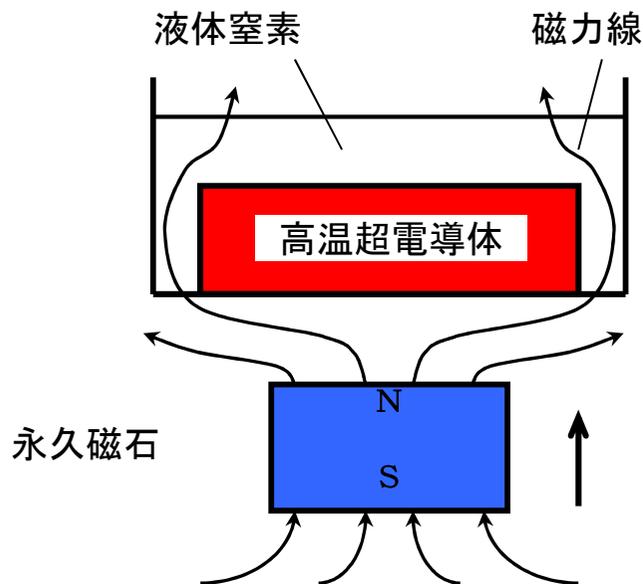
ステンレスリング

樹脂



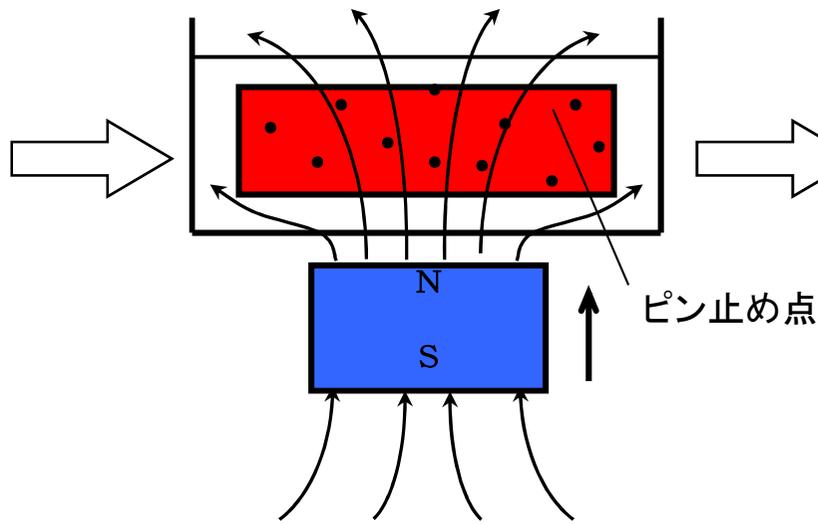
超電導バルク磁石の磁氣的性質

<磁場に反発>



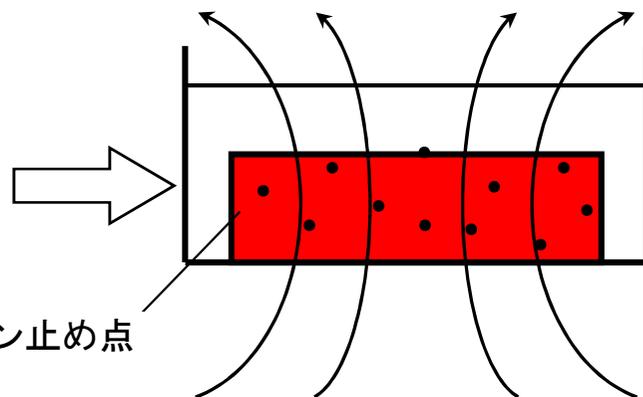
マイスナー効果
(磁場を排除=完全反磁性)

<安定して浮上>



磁気浮上への応用

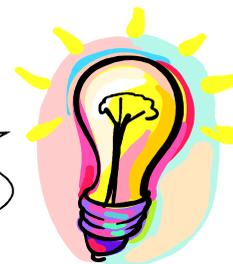
<磁石になる>



超電導バルク磁石

ピン止め効果
(磁場を捕捉)

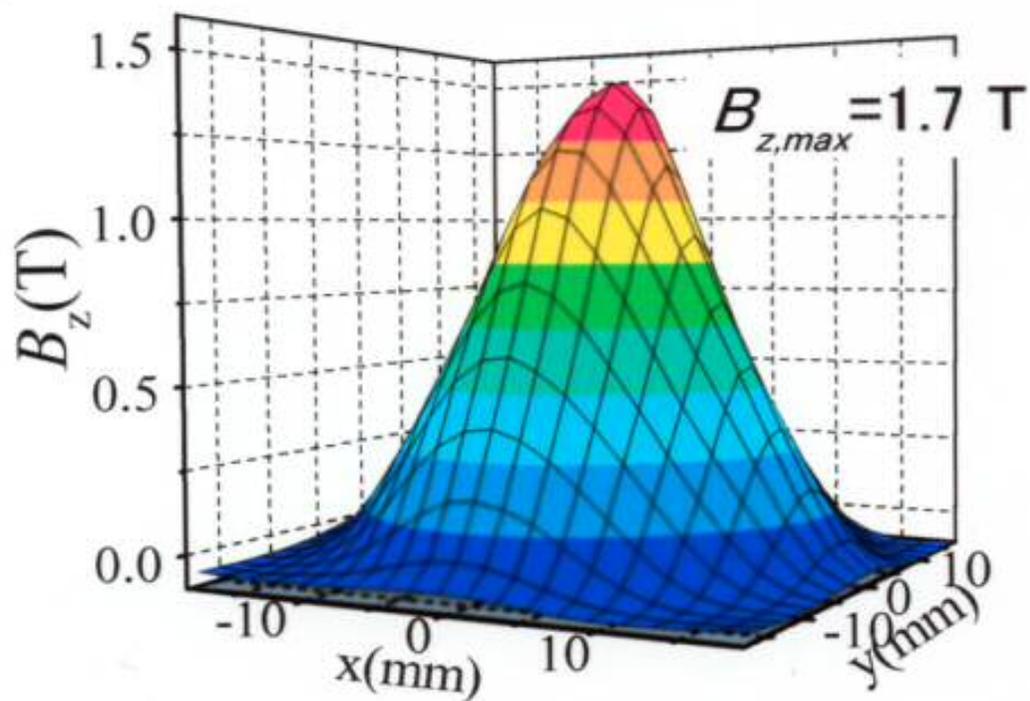
これまでの磁石と違う原理！
超強力な「磁場発生機」ができる



発生する磁場の性質

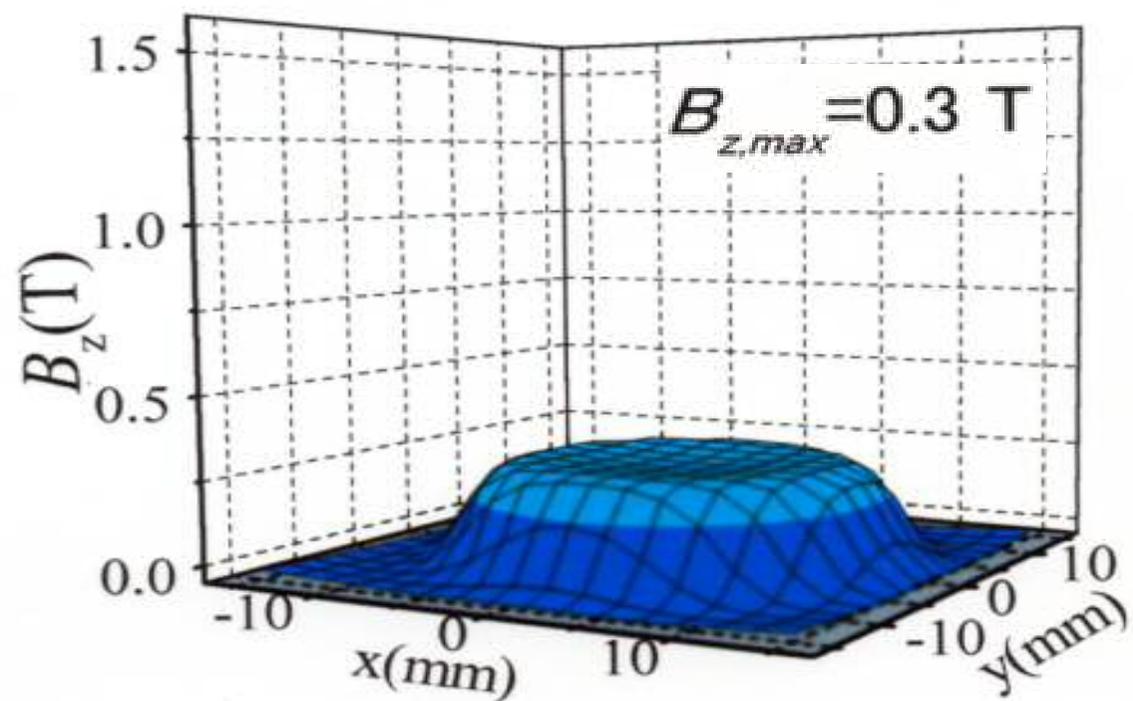
- スーパーマグネット

Sm-Ba-Cu-O 77 K ϕ 36 mm

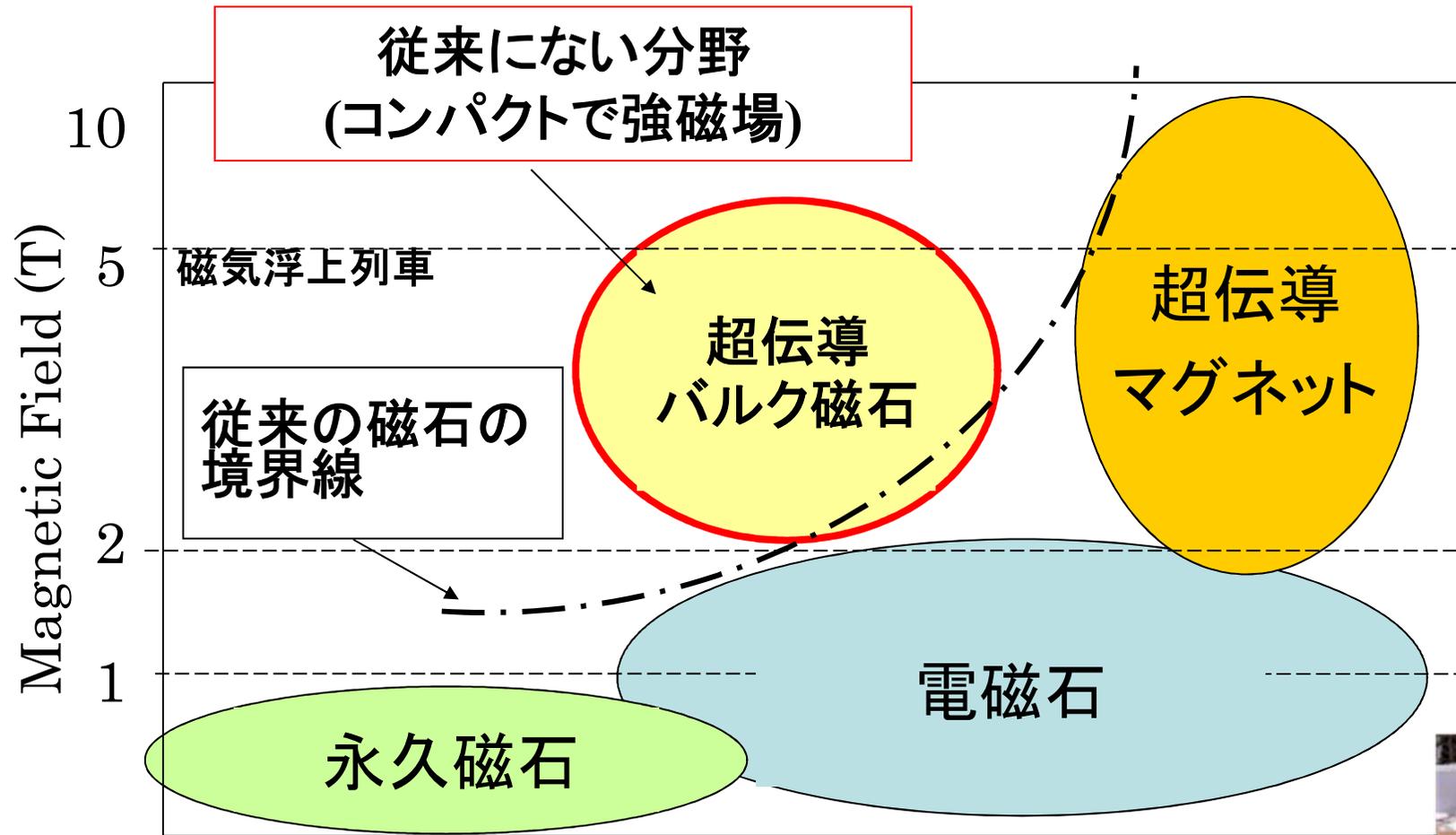


- 永久磁石 (常温)

Nd-Fe-B ϕ 24 mm



様々な磁石とその発生磁場



永久磁石 (~1万ガウス)
~10万円、~2kg

小規模
安価



電磁石 (~2万ガウス)
300~2千万円、500~2000kg

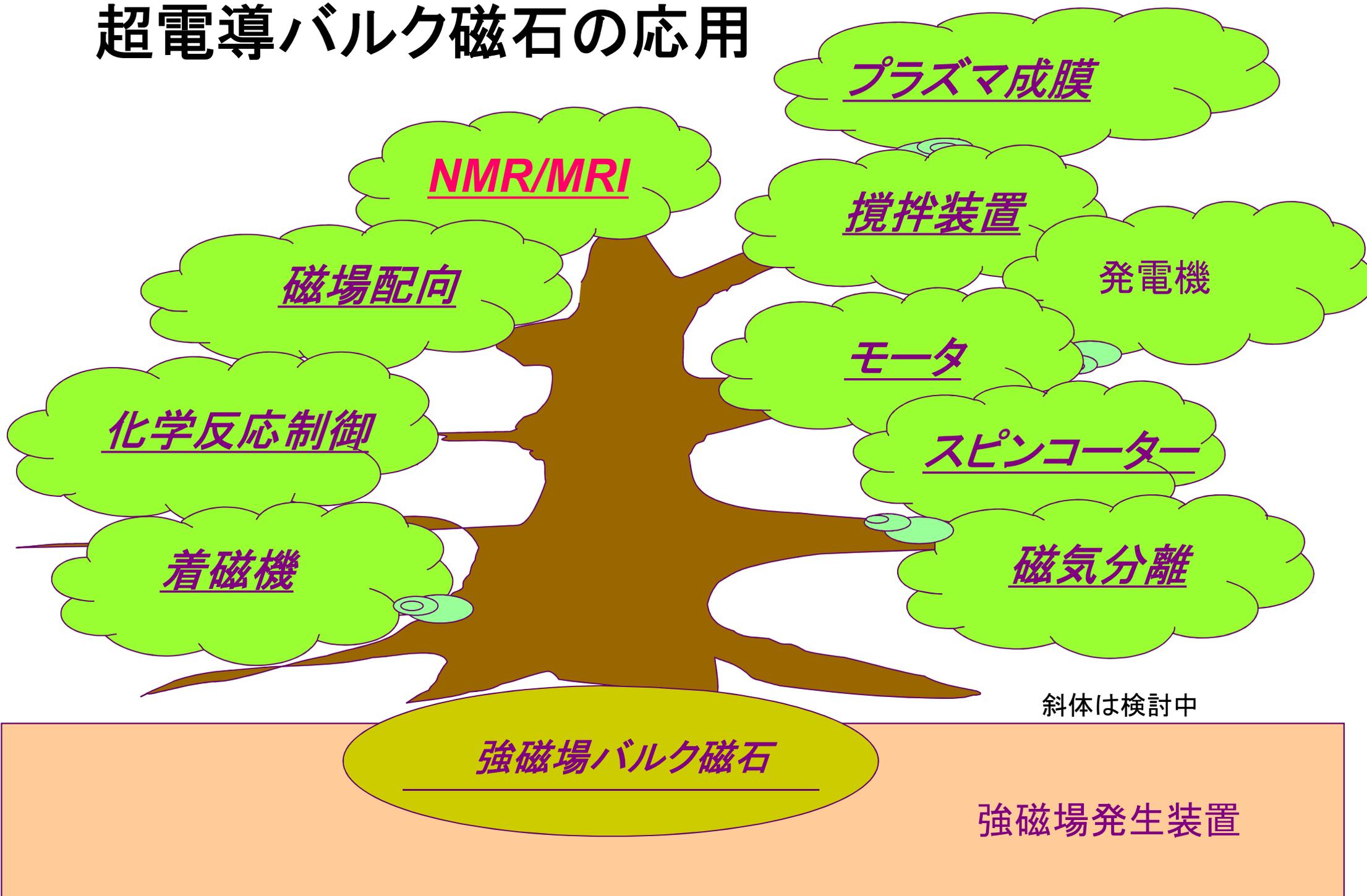
装置の大きさ
値段

大規模
高価



超電導磁石 (~10万ガウス)
2千万円~、500~1000kg

超電導バルク磁石の応用

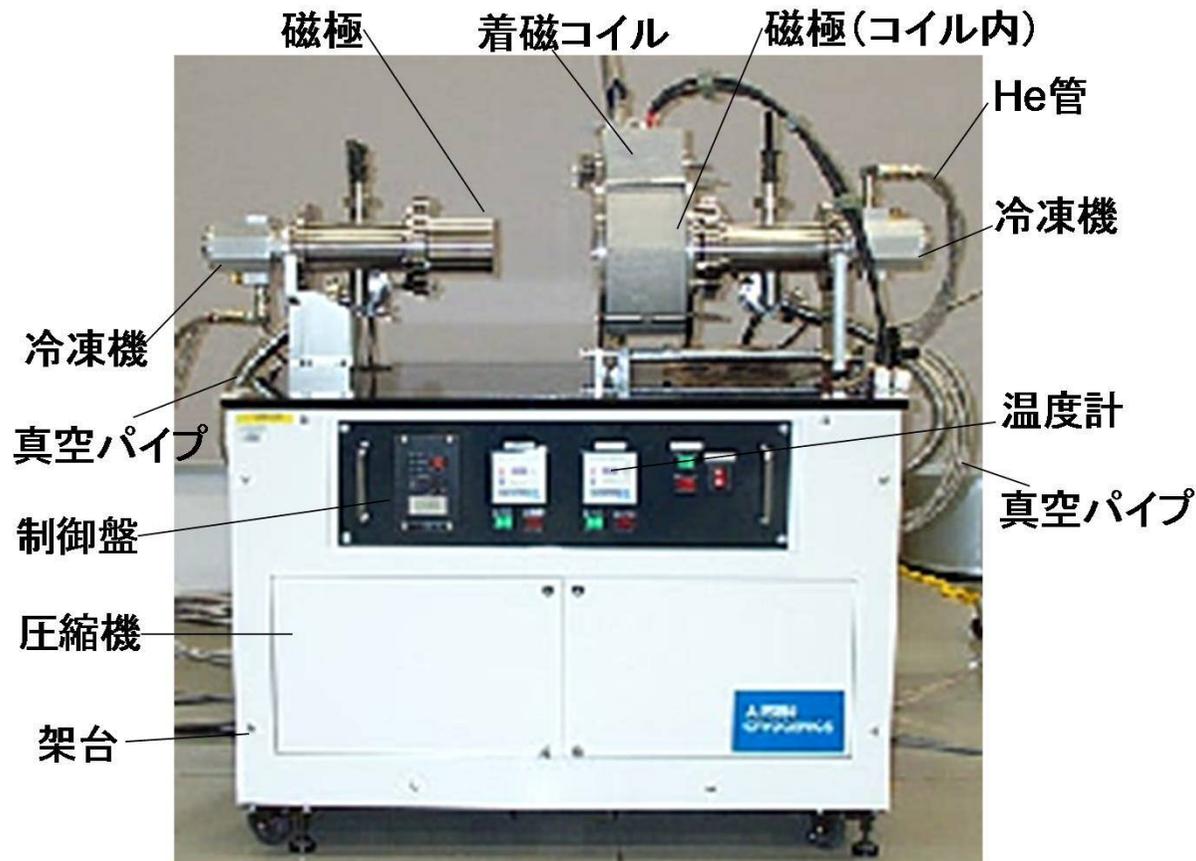


想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、磁気分離・分析・着磁・配向製造に適用することで設備の小型化のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、モータや発電機など回転機の効果が得られることも期待される。
- また、達成された磁場の安定性に着目すると、NMRなどの非常に精密な強磁場や加速器などの大型科学機器の分野や用途に展開することも可能と思われる。

新技術の概要

冷凍機で極低温に冷却して強磁場を捕捉した高温超電導バルク磁石を対向に配置して、左右異なった磁場分布を発生させた磁極表面を互いに組み合わせることで、磁極間に均一な磁場空間を生成する方法とその装置



- 超電導体; $\sim \phi 60$
- 容器径; $\sim \phi 87$
- 冷凍機; GM式
- 到達温度; 35K
- 冷凍能力; 15W(77K)
- 寸法; 900x600x1100
- 電源; 3kW(100V)
- 重量; 180kg

研究背景と目的

NMRやMRIなど強磁場を利用した検査分析・診断装置

超電導コイルが主流

対向型高温超電導バルク磁石

- 強磁場
- 液体ヘリウムが不要(無冷媒)
- 小型・ポータブル
- 気温や湿度に左右されず安定な磁場
- 一度の着磁で強磁場を長期間維持

強力で均一な磁場の開発が必要

- ✓ 高い分解能のための均一で安定した静磁場
- ✓ 多様な応用可能性に対する多様な磁石開発

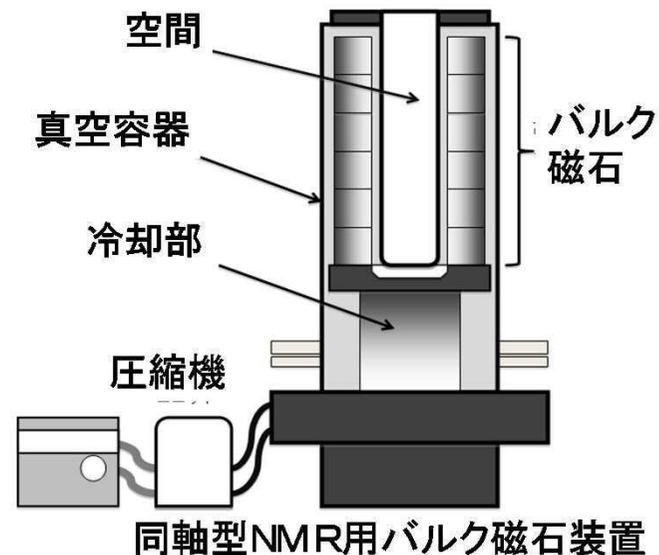
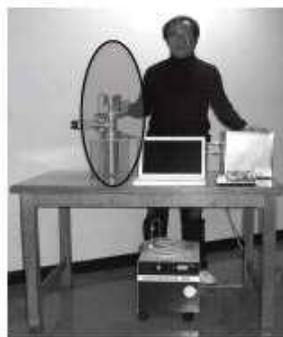
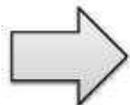
NMR/MRI用磁石への挑戦

270MHz (-6T)

200MHz (4.7T)



小型化

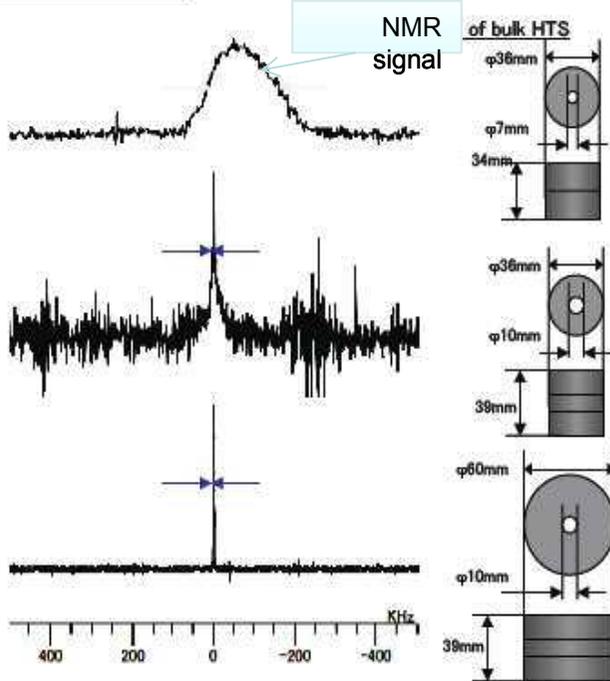


分解能

178kHz(1445ppm)

2.93kHz(23.2ppm)

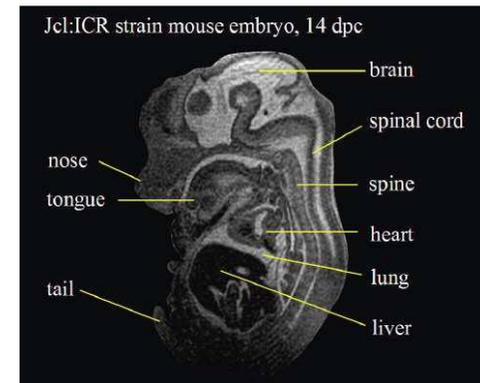
0.61kHz(4.85ppm)



Sample
Si - Rubber



Sagittal images of a mouse (2)



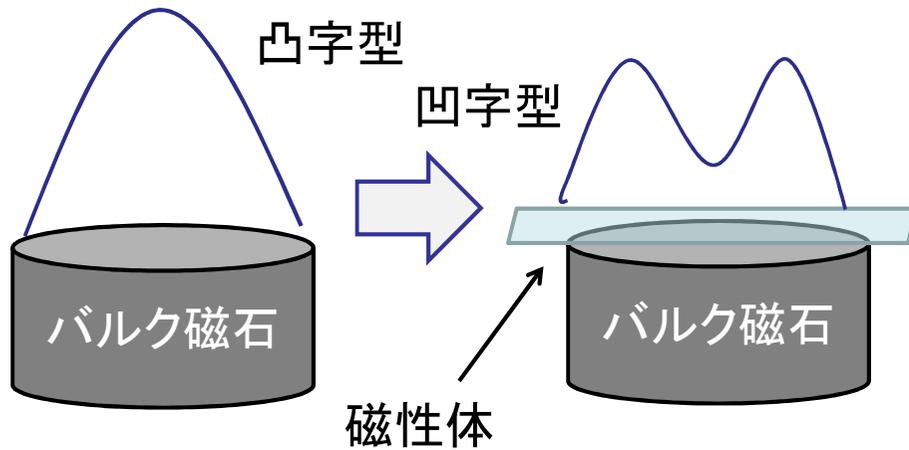
NMR信号の検出に成功！

マウスのMRI撮像に成功！

仲村ら、低温工学 46 (2011) 139-148

小川ら、 Applied Physics Letters 98, 234101-1-234101-3.

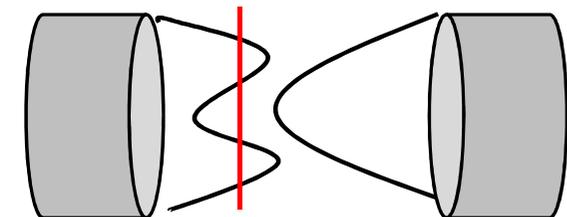
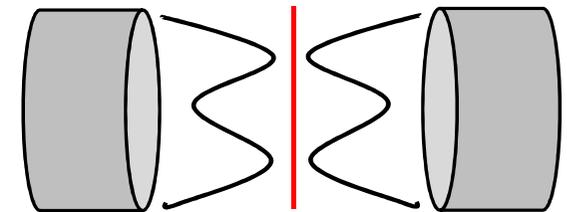
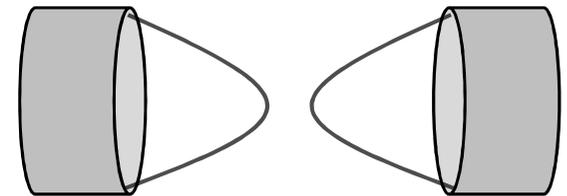
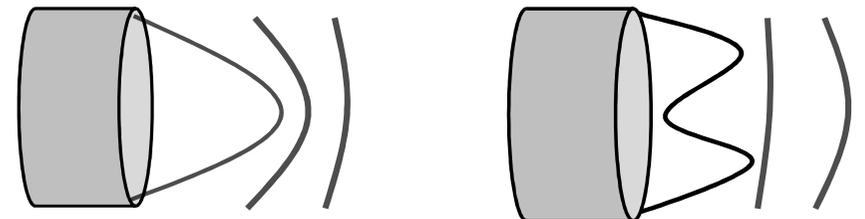
磁場分布の変形と組み合わせ



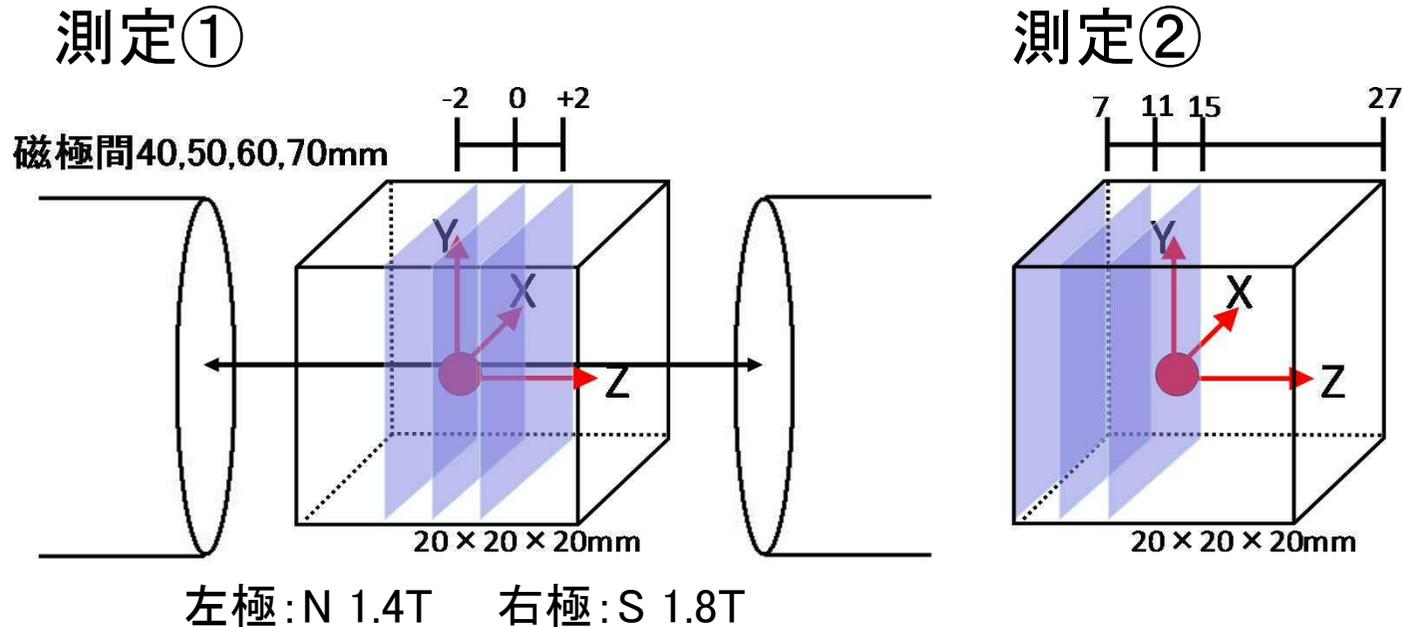
不均一な磁場(中央部が最大)
バルク磁石の磁場分布を変形⇒中央部分を減衰(凹字型)

磁極表面に磁性体を貼り付け
磁場形状を変化させ、均一性を調べる

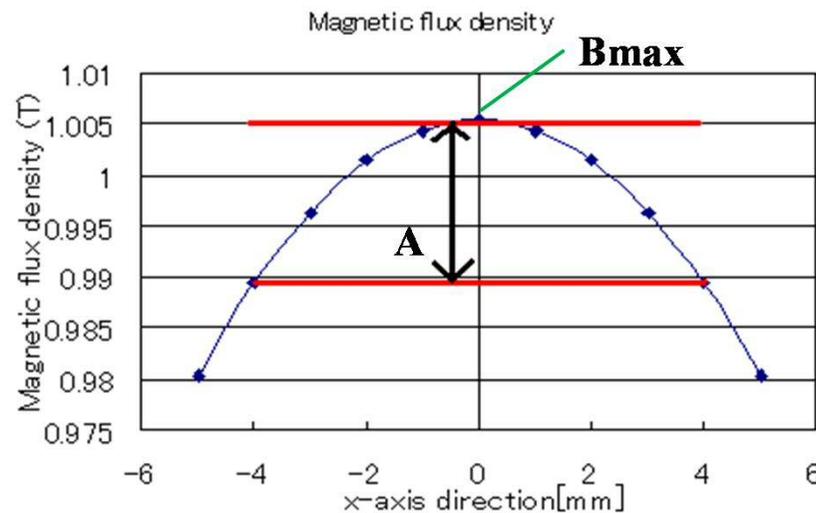
- ① 凸字型磁極の対向配置
- ② 凹字型磁極の対向配置
- ③ 凹字型と凸字型磁極の対向配置



実験方法と装置



- 3軸ホールセンサー
- X-Y平面
- 2mmピッチ
- 絶対値
- 近似曲線
- 4mm面内
- Bx,By,Bz全成分
の自乗平均
- ①磁極間中心を基準
- ②左極面を基準

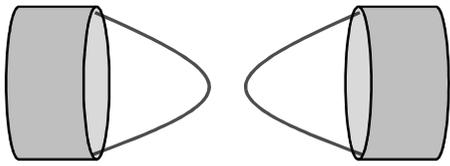


Bmax: 最大値 (T)

A: 最大値と最小値の差 (T)

H: 磁場の均一性 (ppm)

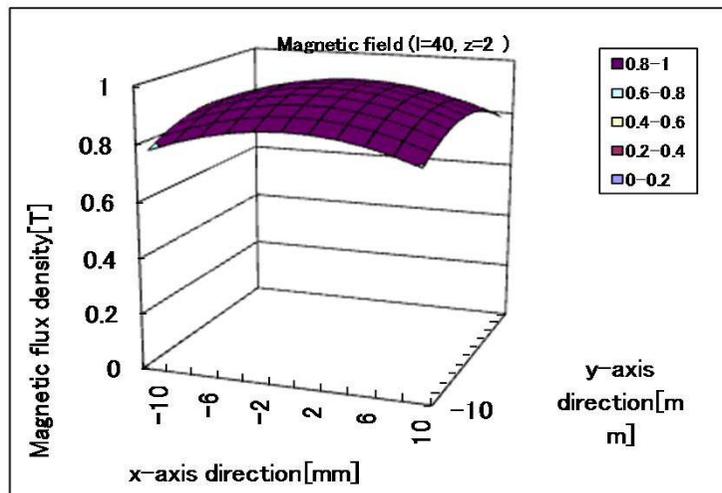
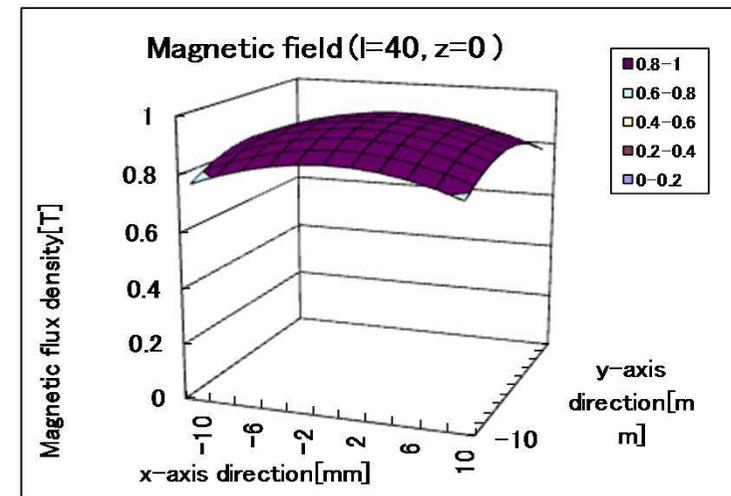
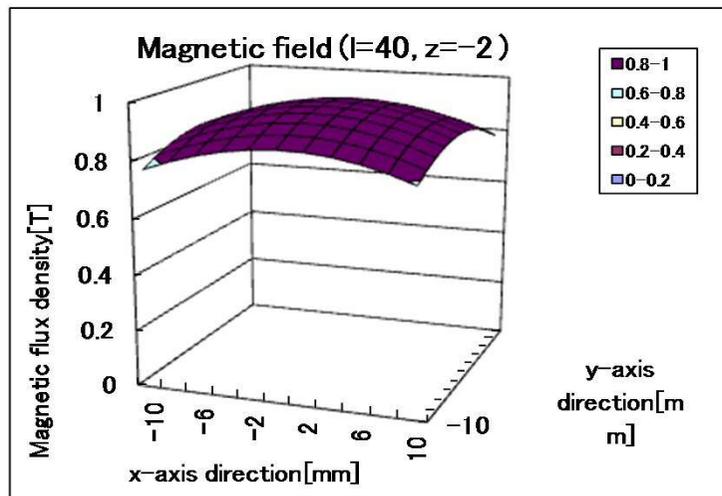
$$R = \frac{A}{B_{\max}} \times 10^6 \text{ [ppm]}$$



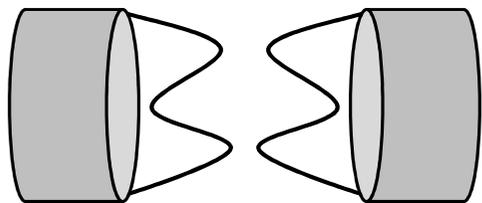
測定結果

凸字極 (磁性体無)

$L=40$ $Z=-2, 0, 2$

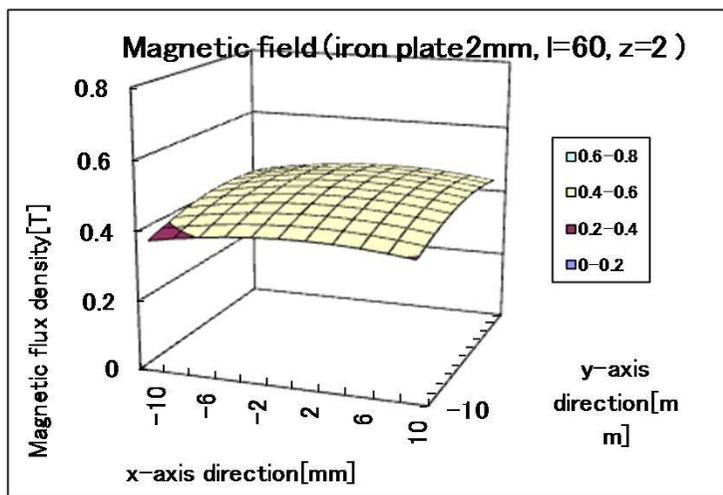
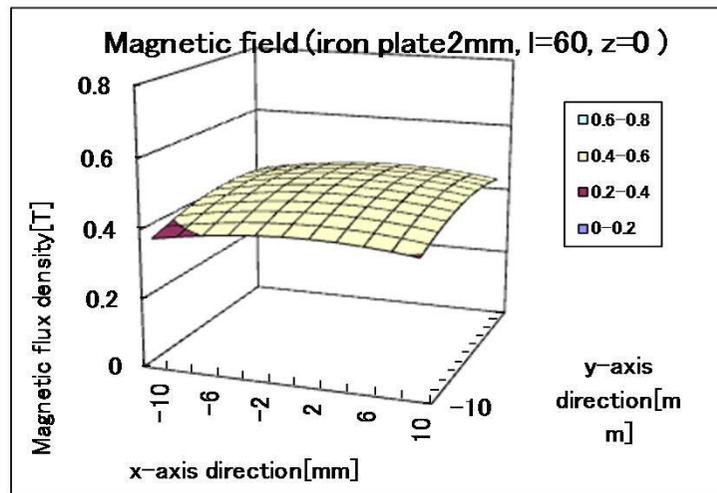
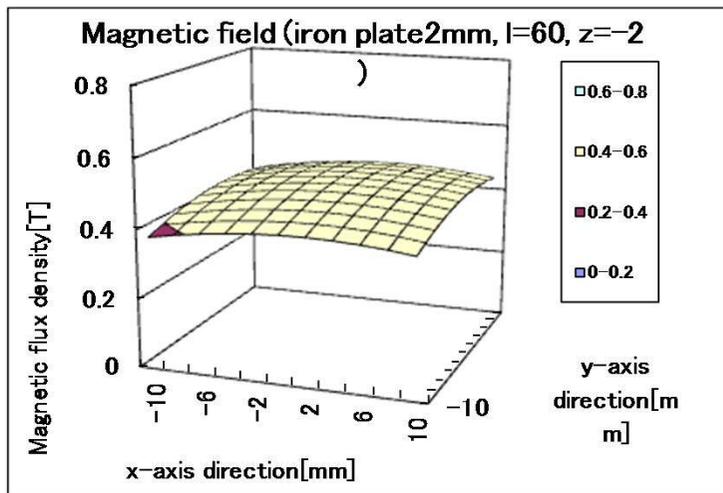


z	最大磁場 (T)	均一性 (ppm)
-2	0.9565	3764
0	0.9517	3783
2	0.9620	3742

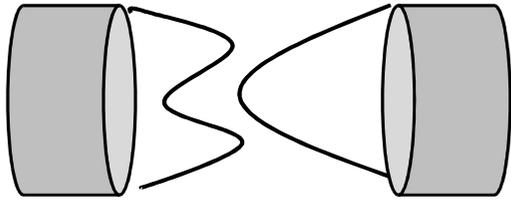


凹字極 (両極)

磁性体 (厚さ2mm) $I=60$



$d=60$	最大磁場(T)	均一性(ppm) X軸方向4mm
-2	0.477	2516
0	0.472	2541
2	0.473	2536

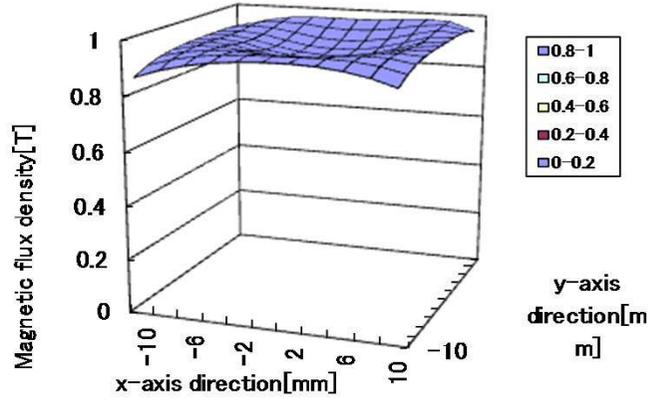


凸字極+凹字極

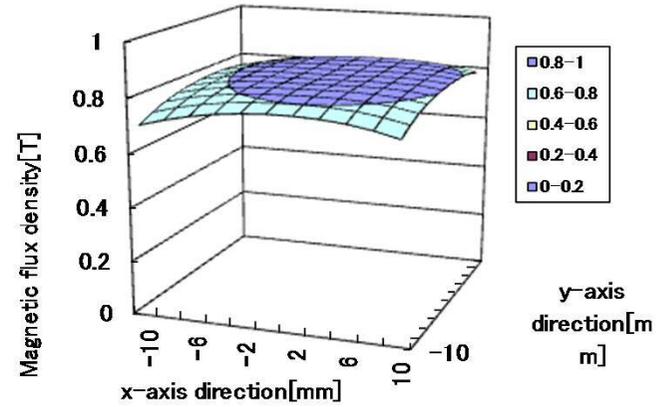
磁性体(厚さ2mm)

L=50

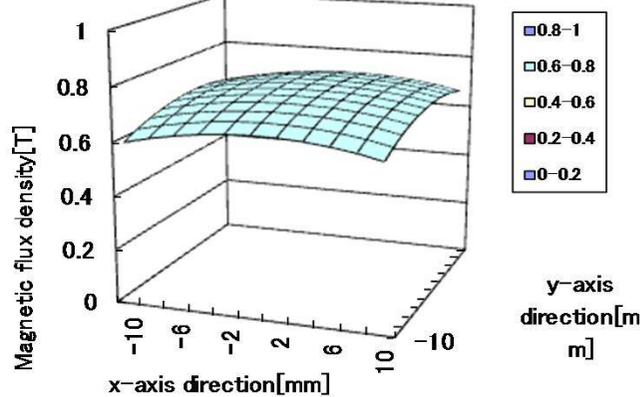
Magnetic field (left iron plate, L=50, 7mm)



Magnetic field (left iron plate, L=50, 11mm)



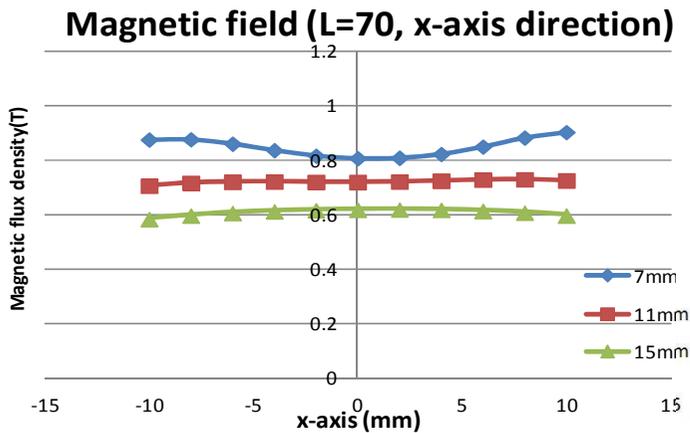
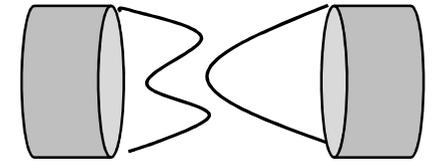
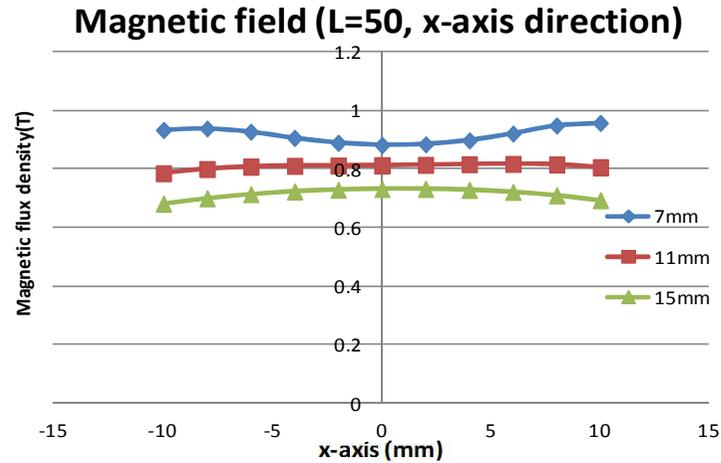
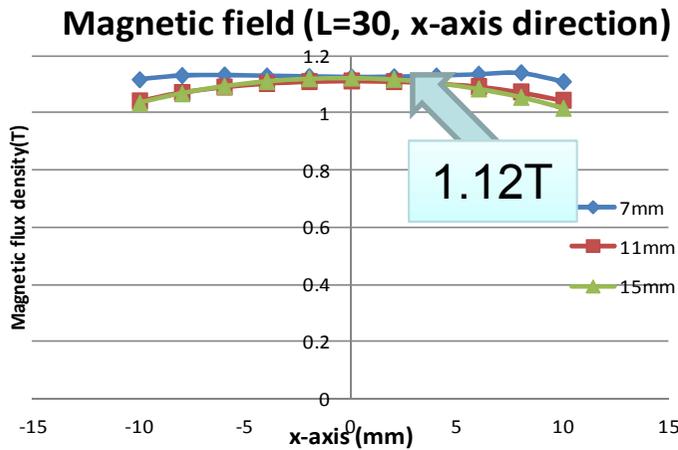
Magnetic field (left iron plate, L=50, 15)



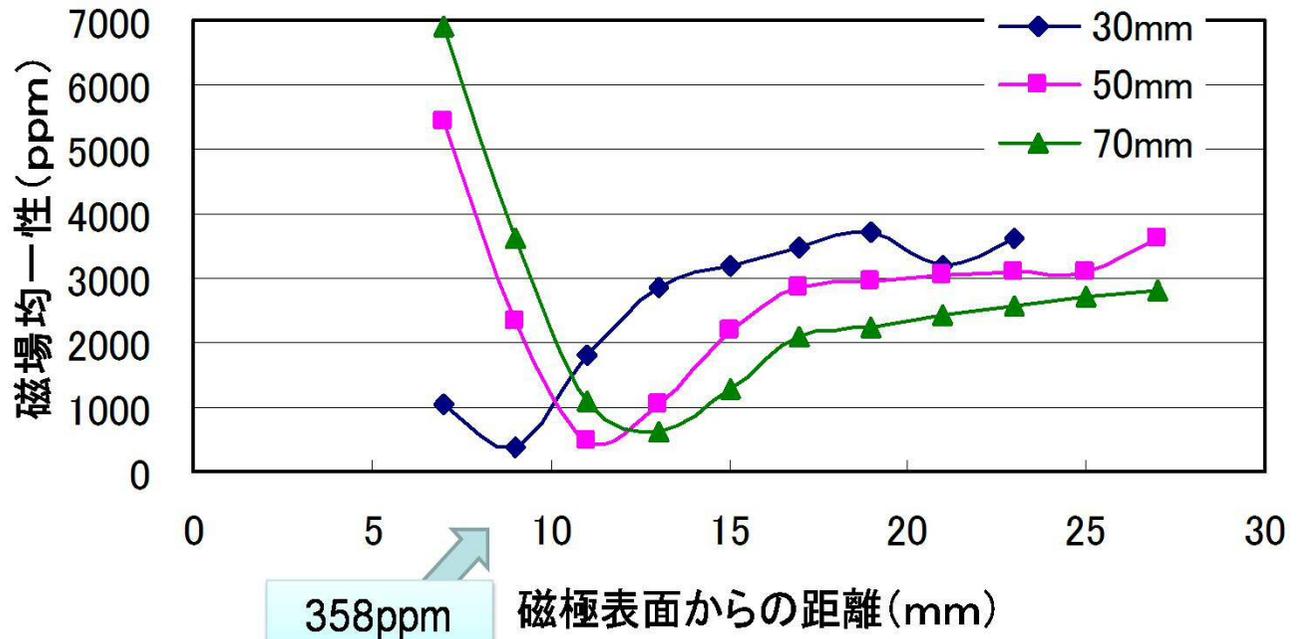
	中心磁場(T)	磁場分布 (ppm)
7mm	0.8811	5418
11mm	0.8107	493
15mm	0.7309	2189



X軸方向の磁場分布と均一性



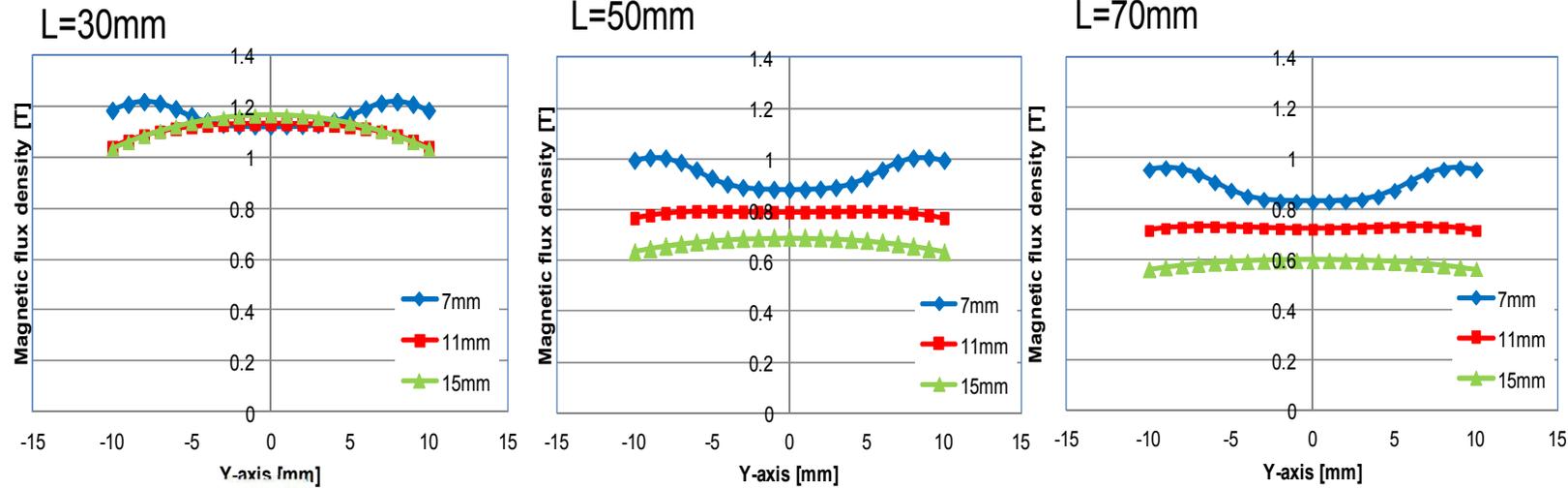
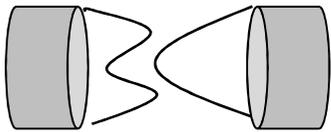
磁場の均一性(x軸方向; 4mm)



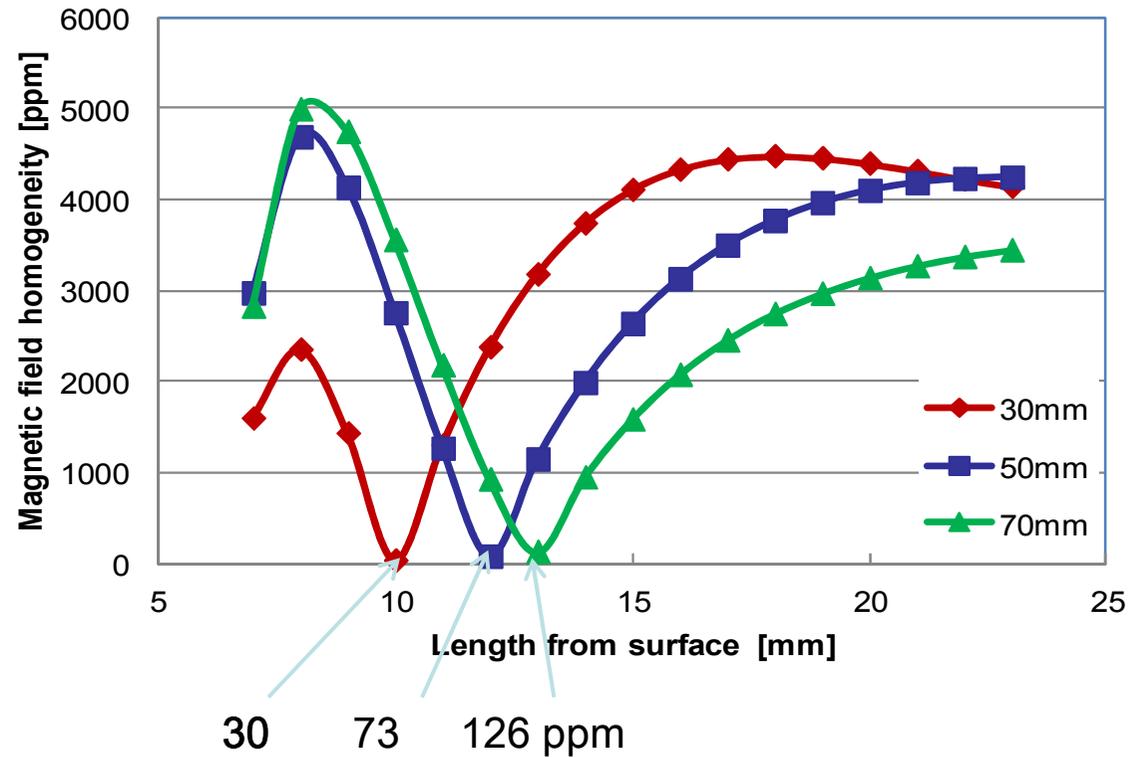
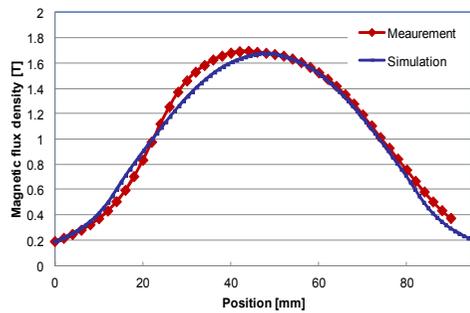
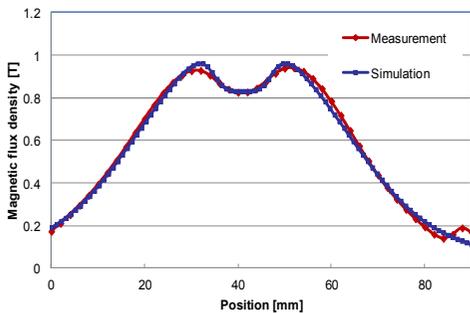
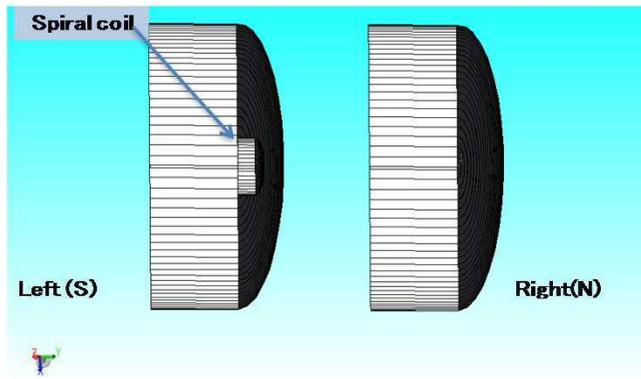
- 凹字型磁場分布から凸字型への移行域で均一磁場の可能性
- バルク磁石独自の磁場分布

磁場分布の均一性

シミュレーション



コイルによる数値解析



新技術の特徴・従来技術との比較

- 3テスラ程度の強い静磁場を発生する
- 時間安定性に優れた静磁場を発生する
- 小型冷凍機を使ったコンパクトな装置で設置場所やスペースが選びやすい



- 医療用MRIやNMR分析装置に用いる静磁場のために一般的に使われる超電導コイル磁石よりも小型コンパクトに利用でき、冷媒を必要とせず使いやすく、安定した均一磁場を発生することができるため、従来にない応用分野が開拓できる

実用化に向けた課題

- 現在、低温に保持する技術について、断熱保持が可能なところまで開発済み。しかし、停電時の対処の点が未解決。
- 今後、冷凍機の小型化について検討し、簡便な断熱の適用の条件設定を実施。
- 実用化に向けて、磁場測定の精度をmm単位まで向上できるように技術確立する必要。

企業への期待

- 未解決の冷凍機については、市場性の拡大予測により克服できると考えている。
- 低温機器の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、小型で強磁場を小型で安価に利用したい企業、分析、磁気処理への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : 磁場発生装置及び核磁気共鳴装置
- ・ 特許番号 : 特許第4806742号
- ・ 出願人 : アイシン精機
- ・ 発明者 : 吉川雅章ほか
- ・ 発明の名称 : 磁場発生装置及び磁場発生方法
- ・ 出願番号 : 特願2014-42009
- ・ 出願人 : 新潟大学
- ・ 発明者 : 岡徹雄ほか

産学連携の経歴

- ・ 2002年-2003年 : 科学技術振興事業団岩手県地域結集型共同研究事業「生活・地域への磁場活用技術の開発」岩手産業振興センター
- ・ 2007年 : 科学技術振興機構地域イノベーション創出創造支援事業・重点地域研究開発推進プログラム平成19年度シーズ発掘試験「ペンシル型強磁場超伝導バルク磁石に関する開発研究」
- ・ 2009年 : 科学技術振興機構地域イノベーション創出総合支援事業 重点地域研究開発推進プログラム平成21年度シーズ発掘試験「強磁場を用いた無電解ニッケルめっき廃液のゼロエミッション化の研究」
- ・ 2010年 : アイシン精機・イムラ材料開発研究所・愛知技研共同研究「無電解ニッケルめっき廃液からのニッケルの回収・廃液の長寿命化技術」

お問い合わせ先

**新潟大学 産学地域連携推進機構
産学地域連携推進センター**

TEL 025-262-7554

FAX 025-262-7513

e-mail onestop@adm.niigata-u.ac.jp